

مدخل الى علم الفلك

الأستاذ الدكتور محمدباسل الطائي



2019
YARMOUK UNIVERSITY
[Company address]

مدخل إلى علم الفلك

الأستاذ الدكتور محمدباسل الطائي

مقدمة الكتاب

هذا الكتاب هو مجموعة محاضراتي في علم الفلك ألقيتها في سنوات مختلفة لفصول عديدة خلال فترة عملي بجامعة اليرموك في الأردن لعشرين سنة.

الكتب التي تعني بعلم الفلك باللغة العربية قليلة جداً، لكننا نرى الكتب المؤلفة بلغات أخرى تملؤ رفوف مكتبات. وهذا أمر مؤسف حقاً. لذا وجدت ضرورةً لنشر الكتب في هذا الشأن فعمدت الى تأليف كتاب (أساسيات في علم الفلك والتقاويم) الذي نشرته عام 2001 ثم نشرت لي دار النفائس اللبنانية عام 2003 كتاب (مدخل الى علم الفلك) بطبعة ملونة قشيبة. وقد لاقى هذا الكتاب رواجاً كبيراً وأعيدت طباعته مرات عديدة. وقد عرضت على الناشر القيام بتنقيحه والزيادة فيه لكن الناشر لم يكترث لطلبي.

إن من المؤسف بل من المؤلم أن نرى الناشرين العرب يسعون الى الكسب دون العناية بمنشوراتهم لا من حيث المحتوى ولا من حيث التوزيع. ومن المعروف أن ما يكسبه المؤلف من نقود لا يجزي لقاء جهده وعمله المضني في التأليف والتنسيق والتصحيح. وهذا سبب مهم لعزوف الباحين والأساتذة المتخصصين عن التأليف,

لقد وصلتني مئات الرسائل تسأل عن كتبي أين تباع؟ فهنالك جمهور واسع يريد اقتناءها. ومن المؤكد أن هنالك سوء في التوزيع سببه مصالح الناشرين الضيقة!

لذلك عمت الآن الى نشر هذا الكتاب وغيره على بوابة الأبحاث Research Gate ليكون في متناول من يطلبه مجاناً بعد أن أجريت بعض التعديلات والتصحيحات وقليل من الاضافات على النسخة الأصلية وفي الجعبة الكثير.

محمدباسل الطائي

ليدز / المملكة المتحدة

الفصل الأول

معرفة السماء

أهمية دراسة علم الفلك

يعتبر علم الفلك واحداً من أقدم العلوم، ذلك لأنه بدأ مع تشكّل وعي الإنسان عن هذا العالم، فصورة السماء بنجومها وكواكبها اللامعة تُبهر الأبصار، وطلعة البدر البهية أخّاذةٌ إلى درجة كبيرة جعلت الشعراء يهيمون به هيامهم بمحبوباتهم. وصورة كوكب الزهرة وبريقه الذي يشبه بريق ثياب العروس جعل الإنسان يسهم النظر في هذه السماء طويلاً، فاكتشف أنها يمكن أن تكون بنجومها هذه دليلاً له أثناء مسيره في القفار ومؤنساً له عن وحشة الليل ونَصَب النهار.

لاحَظَ الإنسان حركات أجرام السماء فوجدها متباينة، منها ما يتحرك جملة واحدة ومنها ما يشذُّ فيتحرك منفرداً، فيبدو مستقيماً في حركته تارةً ومتراجعاً تارةً أُخرى، فكأنه حائر، لذلك سماها **الكواكب المتحيرة**. وكانت تسمية الكواكب والنجوم قديماً تطلق على الأجرام السماوية جميعاً سواء. إلا أن الإنسان اكتشف بعد ذلك أن بعضها مضيء (أي تُنتج الضوء بذاتها) فسماها **النجوم Stars** وأُخرى مستضيئة (تعكس ضوء غيرها) سماها **الكواكب Planets**.

أهمية علم الفلك قديماً

1. معرفة أوقات الأنواء وتغير الأحوال الجوية:

ذلك أن الناس قديماً ربطوا بين الفلك والأنواء ربط اقتران فعرفوا أن حصول الأنواء من رياح ومطر وحر وبرد يقترن بظهور نجوم أو كوكبات نجمية معينة دون أن تكون لهذه النجوم والكوكبات بذاتها علاقة مباشرة مع النوء نفسه بالضرورة. وأصل الربط بين الفلك والأنواء يعود إلى حقيقة اقتران الفصول النوئية (الفصول الأربعة وأجزائها) بمواقع الأرض من الشمس خلال حركتها السنوية. وعموماً فقد أفاد الناس من هذا الاقتران فوضع البابليون جداول مسبقة تعرّف الزرّاع بأفضل أوقات الفلاحة (الحراثة والبذر والحصاد). وتحدد مواسم الأمطار. أما المصريون فقد ربطوا بين الفلك وأوقات فيضان النيل، ووضعوا لتلك الغاية جداول تعين أوقات الفيضان وما ينبغي على الفلاحين عمله.

2. التنبؤ بأحداث المستقبل:

وذلك بمعرفة مواقع الشمس والقمر والكواكب في البروج، وهذا ما سمي **علم التنجيم** أو **أحكام النجوم** وهو ليس علماً بالمعنى الصحيح لأنه يقوم على كثير من المسلمات الإعتقادية وليس له أية أسس برهانية، على الرغم من توافره على كثير من الحسابات ورغماً عن استخدامه لكثير من المعلومات الفلكية الرصدية والنظريات الهندسية الصحيحة. وقد شجع الملوك والأمراء وكثير من أصحاب الثروة والمال جهود المنجمين بل إن التنجيم هو أحد أهم الدوافع التي وقفت وراء تطوير علم الفلك الرصدي Observational Astronomy.

3. الاهتداء بالنجوم في البر والبحر:

من المعلوم أن خارطة السماء أوضح وأدق من خرائط الأرض فمسالك الأرض متغيرة غادرة، لكن مسالك السماء ثابتة موثوقة. فالنجوم في مسالكها تسير بانتظام، فيما تتحول كثبان الأرض بين وقت وآخر دون أن يتمكن أحد من التنبؤ بمواقعها. أما في البحر فإن الأمر أدهى وأمر، إذ ليس فيه أيّة مثابات أو علامات يُهتدى بها، فيما تكون سماء البحار صافية داكنة بغياب القمر، ترصعها النجوم المتلألئة. لذلك تكون سماء البحر خير وسيلة لمعرفة الاتجاهات وتقدير السبل. وقد وصف الملاح العربي إبن ماجد بوصلة البحر المسماة **الحقّة** التي تستخدم نظام **الأخنان** والذي سيأتي وصفه في الفصل السادس من هذا الكتاب عند عرض الأجهزة الفلكية.

أما في الوقت الحاضر فإن أهمية علم الفلك تتركز فيما يلي:

1. تحقيق فهم أدق للعالم بكل ما فيه من أشكال الطاقة والمادة واستيعاب قوانينها ونواميسها، وذلك للاستفادة من هذا الفهم في تطوير الحياة المادية على الأرض. وقد ظهر هذا التوجه بعد أن عرف الإنسان أن قوانين الأرض هي نفسها قوانين السماء، خلافاً لما كان يعتقده أرسطو ومن تبعه في العقيدة من أن للسماء تراكيباً وقوانيناً تختلف نوعياً عن تراكيب وقوانين الأرض. فقد صار في المعلوم الآن أن السماء دليل الأرض

وأن الأرض دليل السماء. ويدخل تحت هذا الباب جميع الجهود التي تبذل على صعيد فهم أصل الكون وكيفية نشأته وتطوره.

2. تدقيق الحوادث التاريخية المسجلة والمقترنة بحوادث فلكية. مثال ذلك تاريخ وفاة إبراهيم إبن النبي (ص) ، إذ ورد في كتب الحديث أن الشمس كُسفت يوم وفاته فقال بعض الناس إنما كُسفت لموت إبراهيم فقام رسول الله (ص) فيهم خطيباً وقال في حديث له "إن الشمس والقمر آيتان من آيات الله وإنهما لا يخسفان لموت أحد". ومن المعلوم أن كسوف الشمس يحصل آخر يوم من الشهر القمري ولا يحصل في وقت غيره. ويبين التحقيق الفلكي أن كسوفاً حصل يوم 29 شوال سنة 10 هـ الموافق ليوم 27 كانون الثاني سنة 632م. إلا أن بعض كتب التاريخ أوردت لذلك تواريخاً أخرى وهي غير صحيحة.

3. معرفة سبب ومعنى وجود الإنسان على هذه الأرض وفيما إذا كان وجوده في هذا الكون متفرداً أم عاماً، أي بمعنى إذا كان وجوده ظاهرة فريدة في الكون أم إنها ظاهرة شائعة تحصل في أمكنة أخرى من الكون. ولهذا الغرض، أي البحث عن الحياة أو آثار للحياة على كواكب أُخر، أجريت أنشطة كثيرة وبذلت مساعٍ وجهود كبيرة وقامت هيئات ومؤسسات أهمها هيئة البحث عن حياة ذكية خارج الأرض SETI (أنظر على الأنترنت الموقع http:// www.seti.org).

سماء الليل وأجرامها

تظهر في سماء الليل أجرام لامعة مختلفة في درجة لمعانها وفي حركاتها أيضاً. فمنها ما يتحرك جملة واحدة محافظة بذلك على تكويناتها الشكلية وهذه هي **النجوم**، ومنها ما يتحرك حركة مستقلة عن النجوم، وكأن لها حركات ذاتية خاصة بها ، وهذه هي **الكواكب**. ويمكن تمييز الأجرام السماوية التالية:

1. القمر: Moon

وهو أوضح الأجرام السماوية التي يمكن مشاهدتها بسهولة، وهو جسم كروي الشكل يدور حول الأرض كل 29 أو 30 يوماً دورة كاملة. ويعكس القمر الضوء الساقط عليه من الشمس ويظهر بأطوار مختلفة وذلك بحسب موقعه من الشمس.

2. النجوم: Stars

وهي تلك النقاط المضيئة اللامعة التي تبدو ثابتة في مواقعها النسبية بعضها إلى البعض الآخر، مؤلفةً مجاميع تدعى **الكوكبات Constellations** **وتدور** النجوم حول الأرض دورة كاملة في اليوم الواحد، طالعة من الشرق ونازلة في الغرب.

3. الكواكب السيارة: Planets

كان العرب القدماء يسمونها "**الكواكب المتحيرة**"، وهي أجرام لها لمعان ثابت ينتج عن انعكاس ضوء الشمس عنها. وتتحرك ظاهرياً حول الأرض على قوس في السماء ضمن مسارات متقاربة من الغرب إلى الشرق إذا ما رصدت من ليلة لأخرى بالنسبة إلى مواقع النجوم الثابتة، وهي تسعة كواكب، يمكننا رؤية خمسة منها فقط بالعين المجردة، وهذه هي: عطارد، والزهرة، والمريخ، والمشتري، وزحل. أمّا الباقية وهي أورانوس ونبتون وبلوتو فلا يمكن رؤيتها إلا بالمراقب الفلكية (التلسكوبات).

الكويكبات: Asteroids

وهي أجرام سماوية مستضيئة لها حركات مماثلة لحركات الكواكب لكنها أقل لمعاناً لأنها صغيرة الحجم نسبة إلى حجم الكواكب ويمكننا مشاهدة عدد قليل منها بالعين المجردة. أشهرها الكويكب **Ceres** والكويكب **Vesta**.

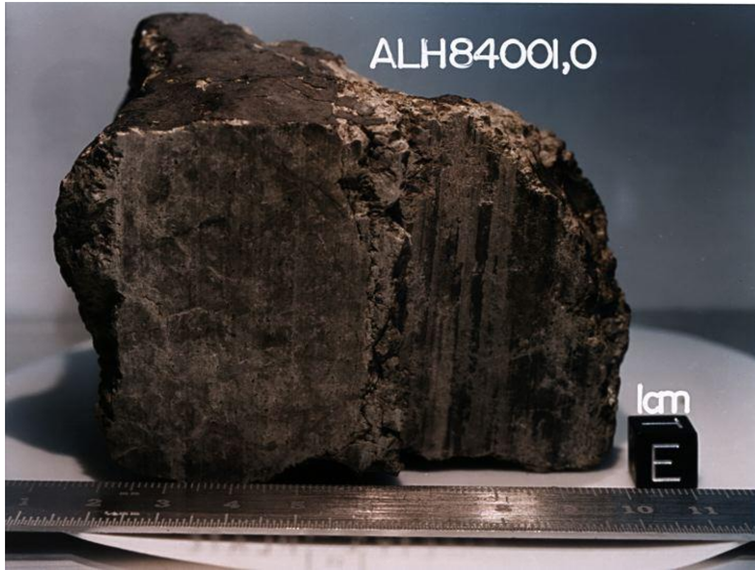
5. الشهب: Meteors

وهي ومضات ضوئية تظهر فجأة في السماء ليلاً، وهذه الأجرام هي في الواقع كتل صغيرة من دقائق الغبار أو القطع الصلبة الصغيرة تسقط على الأرض بفعل الجاذبية فتحترق بفعل احتكاكها بالغلاف الجوي فتتوهج ويتبخر القسم الأعظم منها أو كلها قبل

وصولها إلى الأرض. ويمكن مشاهدة العشرات منها في الليلة الواحدة. وفي بعض أوقات السنة حيث تمر الأرض عبر أنطقة معينة تشكل هذه الشهب زخّات Showers كثيفة تظهر منها آلاف الشهب في الليلة الواحدة.

6. النيازك: Meteorites

حينما تسقط الكتل الصلبة على الأرض فإن معظم كتلتها يتحول إلى غازات وأبخرة وهي لمّا تزل في الجو، وما يتبقى منها يسقط على الأرض محدثاً حفرة على سطحها. ويسمى هذا الجزء المتبقي من الشهاب الساقط نيزكاً. وتمثل النيازك مصادر لمعلومات مهمة عن تكوين الأجرام السماوية. ويختص **علم النيازك Meteorology** بهذا النوع من الدراسات.



الشكل (1-1) نيزك أصله من المريخ

7. المذنبات: Comets

وهي أجرام سماوية مكونة بالأساس من الثلج والنشادر والميثان وبعض المواد المعدنية تدور حول الشمس في مدارات متفاوتة السعة تفاوتاً كبيراً وتتميز بأن لها ذيلاً أو أكثر يتفاوت طوله من مذنب لآخر. ومن أشهر المذنبات التي شوهدت لمئات المرات في

السماء على مدى لتاريخ البشري **مذنب هالي** ومدة دورته هي بحدود 76 سنة وكان آخر ظهور له سنة 1986م. كما ظهر عام 1996 مذنب ساطع سمي مذنب هيل . بوب نسبة إلى مكتشفيه، ومكث في السماء يرى بوضوح شديد لبضعة أشهر. وقد أمكن تصويره بوضوح كبير كما في الشكل (1−2). حيث يتضح أن للمذنب ذيلين أحدهما غازي والآخر غباري.



الشكل (1-2) مذنب هيل بوب

8. السّدم و المجرات: Galaxies and Nebulae

تظهر للراصد الذي يمعن النظر في السماء لطخات سحابية صغيرة تبدو كتجمّع غازي وهذه في الحقيقة هي إمّا مجرات أو سدم، ولا يمكن للعين المجردة أن تميز إلا عدداً قليلاً منها، والمجرات تتألف من مجموعة كبيرة من النجوم بينما لا تحتوي السدم إلا على عدد قليل من النجوم وبعض السدم لا يحتوي على نجوم وهذه هي السدم المعتمة. والسدم هي الأرحام التي تتخلق داخلها النجوم. ومن أشهر المجرات التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة، ولكن بشيء من الصعوبة، مجرة المرأة المسلسلة

(**أندروميدا**) Andromeda Galaxy وهي تعتبر شقيقة لمجرتنا التي نسكنها. والمجرات هي على أشكال مختلفة كما سنبين ذلك في الفصل الثامن من هذا الكتاب، فمنها الحلزونية ومنها البيضوية ومنها الكروية ومن المجرات ما ليس له شكل هندسي بل هي مبعثرة غير منتظمة. ويحتوي الكون على ما يزيد عن 300000 مليون مجرة.

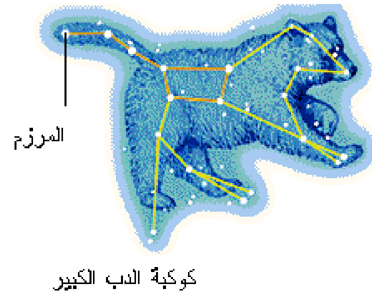


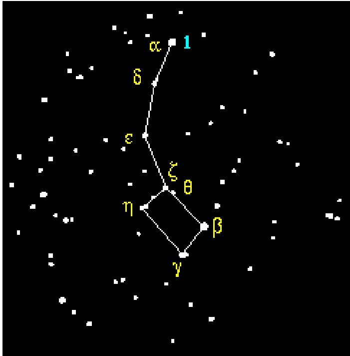


الشكل (1−3) مجرة حلزونية وسديم

الكوكبات النجمية Constellations

التعرف على الكوكبات:





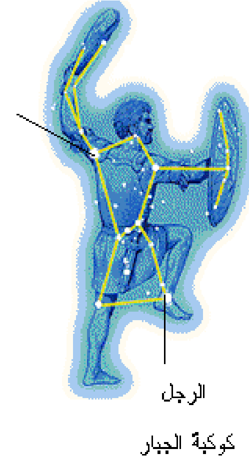
شكل (**1-4**) يوضح صورة كوكبة الدب الكبير كما تظهر في السماء وكما تخيلها القدماء

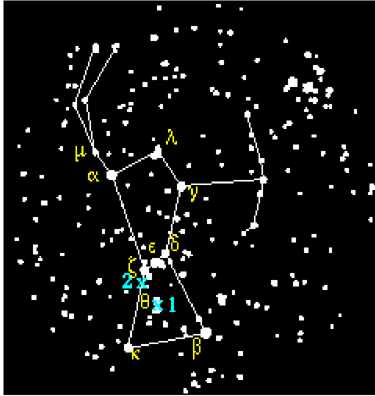
لو راقبنا السماء ليلاً في مكان بعيد عن ضوء المدن المشوش لوجدناها مليئة بالنجوم اللامعة، ولوجدنا أن النجوم تتفاوت في درجة لمعانها، لكننا لابد أن نشعر

بأن هذه النجوم هي أجرام سماوية بعيدة جداً عن الأرض. ومما يسترعي الانتباه أن عدداً من النجوم تشكل مجموعات مميزة ويمكن أن تتخيل لهذه المجموعات تشكيلات

هندسية مختلفة المربع والمستطيل والمثلث والأشكال الرباعية بأنواعها، وعلى أساس هذه الفكرة نفسها تصور الأقدمون المجاميع النجمية ولكن بصورة أكثر حيوية، إذ تصوروا المجاميع النجمية على شكل أناس (الصياد، التوأمان، الرامي وغيرها) وحيوانات (العقرب، الحمل، الحوت، الدب الأكبر،الكلب الأصغر، الدجاجة، الأسد وغيرها) وأدوات (الميزان، الكرسي، الدلو وغيرها). هذه الصور والأشكال في الواقع هي محض أخيلة لا أساس لها إلا في عقول الناس. فقد كان الناس يتطلعون إلى السماء ويبحثون فيها دوماً عن ما يصلهم بها طرداً للوحشة التي تعتريهم في سكون الليل وغربته. ولعل أن البحث في أصل هذه التصورات وتلك التسميات التي اخترعها الناس

للمجاميع الكوكبية مما هو جدير بالعناية، بهدف التوصل إلى فهم أعمق لأصول العقائد القديمة. ولم يقف الأمر عند ذلك بل نسجت أخيلة الناس حول هذه المجاميع النجومية الكثير من الأساطير والحكايات .





شكل (1-5) يوضح صورة كوكبة الجباركما تظهر في السماء وكما تخيلها القدماء

ولعل مما يستدعي التفكير والتساؤل أن هذا التراث الأسطوري بشأن المجاميع النجومية لا يقتصر على أمة أو حضارة معينة بل ينتشر في جميع أنحاء العالم القديم بروايات وقصص ومسميات مختلفة. إلا أن أشهرها هو ما جاء في الأساطير اليونانية. وقد ظن الناس أن لهذه المجاميع النجمية نفوساً وجعلوا لها صفات نفسية وطبيعية، واعتقدوا بتأثيرها على طبائع الجماد والنبات والحيوان والإنسان على الأرض. وهذا كله من ترسبات عصر عبادة الكواكب.

الشكل(1-6) نجوم الكوكبات ليست في مستو

وفي الحقيقة فإن هذه المجموعات النجمية وتلك المسميات لم يكن ما أفاد البشرية منها على ذلك الزمان إلا كونها مثابات استخدمها الناس لتحديد مواقع الأجرام السماوية، فهي دليل راصد السماء.

من الجدير بالذكر أن نجوم كوكبات السماء لا تقع في مستوٍ، واحد أي أنها ليست على بعد

الشكل (1-7) كوكبة حامل رأس الغول

واحد من الأرض بل هي على أبعاد جد مختلفة أحياناً وإنما تُرى من الأرض كأنها في مستوٍ واحد لثبات مواقعها بعضها مع البعض الآخر.

أهم كوكبات السماء

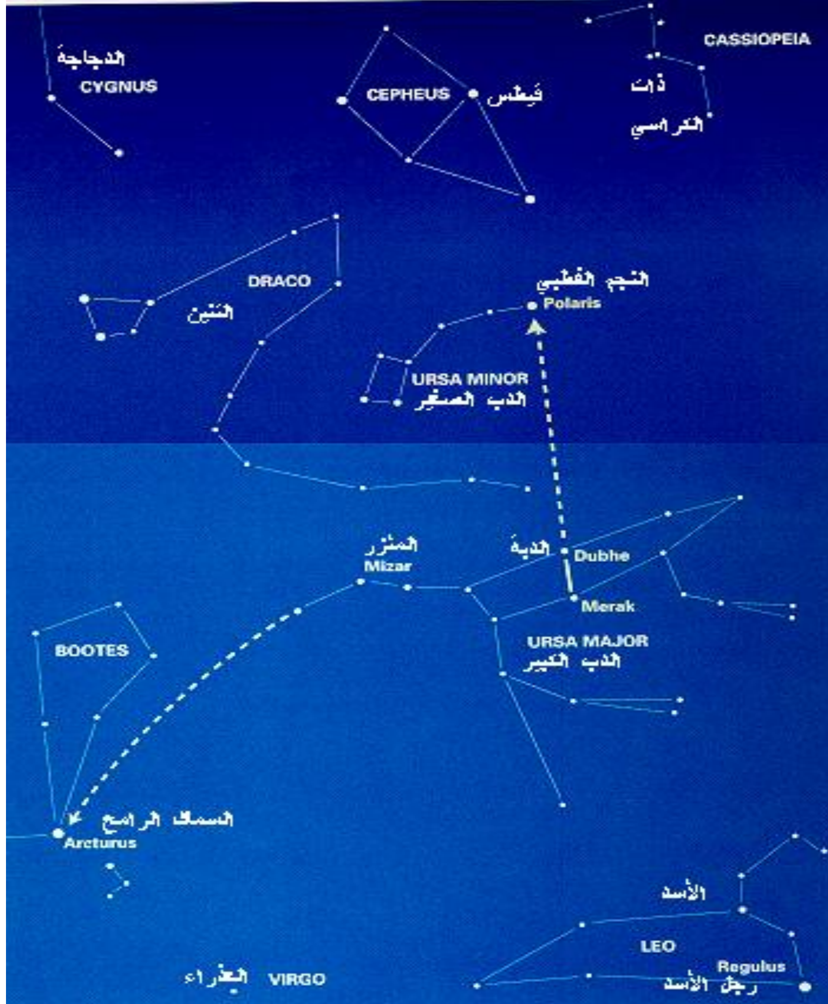
صنف أبو عبدالرحمن الصوفي المتوفى سنة 375 هـ كتاباً سماه (صور الكواكب الثمانية والأربعين)، وفيه رسم صور الكوكبات النجومية الثمانية والأربعين التي كانت معروفة على عصره وقد أجاد تصوير هذه الكوكبات ووصف مواقع نجومها وصفاً دقيقاً فضلاً عن تأليفه أراجيز في وصفها. والكتاب مطبوع بطبعات عدة جيدة ويمكن الرجوع إليه للإطلاع على محتواه الأنيق، وهذه صورة من صوره، وهي التي تعرض كوكبة حامل رأس الغول (برشاوش). وتشيرالحروف التي في الصورة إلى مواقع النجوم التي تضمها الكوكبة مقاسة بالدرجات. ومن المعلوم أن أهم كوكبات السماء وأكثرها شيوعاً كوكبات البروج الأثنتي عشرة والتي سيأتي وصفها لاحقاً.

أهم نجوم السماء

أهم نجوم السماء أكثرها سطوعاً، فهي لذلك الأكثر شهرة. ولا يشترط أن تكون النجوم الأكثر سطوعاً هي الأقرب إلينا بالضرورة، وذلك لأن السطوع يعتمد على عاملين هما: مقدار الطاقة المنبعثة من النجم في الوحدة الزمنية وبعد النجم. وتدعى كمية الطاقة المنبعثة من نجم في وحدة الزمن **النورانية Luminosity** فيما تدعى كمية الطاقة الواصلة الينا على الأرض **السطوع Brightness** . لذلك قد يبدو أحد النجوم القريبة خافتاً على الرغم من قربه منا لأن مقدار الطاقة المنبعثة منه في وحدة الزمن قليل، أي أن نورانيته قليلة. فيما يُرى نجم آخر بعيد أكثر سطوعاً لأن مقدار الطاقة المنبعثة منه في وحدة الزمن كبير، أي أن نورانيته كبيرة.

وأسطع نجوم السماء نجم **الشِعرى اليمانية** المسماة العبور وهي نجمة تقع على امتداد حزام الجبار إلى الجنوب أي تشير إلى وجهة اليمن، (أنظر الشكل 1-9)، ولذلك سمّيت

(يمانية) وتسمى العَبور أيضا، وهي التي ذكرها الله سبحانه وتعالى في القرآن بقوله [وَأَنَّهُ هُوَ رَبُّ الشِّعْرَى] (لنجم:49) وذلك لأن بعض عرب الجاهلية كانوا يعبدونها. وهنالك شعرى ثانية وهي المسماة **الشِعرى الشامية (أو الغميصاء)**، وهي تقع إلى الشمال من الأولى وأقل سطوعاً وكان العرب يستدلون بها على وجهة الشام.



الشكل(1-8) الدب الكبير والدب الصغير كدليل إلى نجم القطب ونجوم أخرى

ولغرض التعرف على مواقع الكوكبات والنجوم يمكن الرجوع إلى الكتب والأدلة النجومية والاستعانة بخرائط الرصد الفلكي، وقد أثبتنا في نهاية الكتاب صورة السماء

لموقع راصد عند خط عرض 45 درجة شمالاً وللفصول الأربعة. لكن، ولغرض تمكين القارئ من التعرف على أهم نجوم السماء وكوكباتها نقدم فيما يلي خرائط دلالة يمكنه الاستعانة بها للغرض المذكور، وهذه في الشكلين (1-8و1-9). إن أهم ما ينبغي على الراصد الابتداء به هو تحديد موقع نجم القطب في السماء فهو المثابة الأساسية حيث تدور حوله جميع نجوم السماء وكوكباتها. ونظراً لأن النجم القطبي هو جرم خافت قد يصعب تقدير موضعه مجرداً فإن على الراصد تحديد مواقع الكوكبات المشهورة: كالجبار والدب الكبير (الذي يكون على شكل مغرفة كبيرة)، والدب الصغير (الذي يكون على شكل مغرفة صغيرة قبضتها تبدأ عند نجم القطب) وكوكبة قيطس وذات الكراسي وكوكبة التنين. ولهذا الغرض عليه أولاً معرفة أوقات ظهورها في الأفق ثم التماس وجودها في السماء وبالممارسة يكتسب الراصد خبرة كبيرة وذخيرة مفيدة لمعرفة مسالك السماء ودروبها. ولعل أن من الضروري تمييز نجم بيت القوس في كتف كوكبة الجبار ونجمة الرِّجل في كوكبة الجبار أيضاً، و الشعرى اليمانية التي تشير إلى جهة الجنوب الأدنى والشعرى الشامية التي تشير إلى الشمال الأدنى ونجم سهيل الذي يشير إلى جهة الجنوب الأقصى.

البروج وتقسيماتها في كرة السماء

قسم القدماء كرة السماء إلى اثني عشر قسماً متساوية لكل منها 30 درجة أسموها **البروج** كل منها باسم كوكبة من الكوكبات النجمية التي تقع في تلك الأقسام، تجمعها دائرة عظمى مدارها 360 درجة تسمى **دائرة البروج Zodiac** وهذه هي: الحمل، الثور، الجوزاء، السرطان، الأسد، العذراء، الميزان، العقرب، القوس، الجدي، الدلو، الحوت. وقد نظم فيها الشاعر قوله:

حمل الثور جوزة السرطان   وحمى الليث سنبل الميزان
ورمى عقرب بقوس جدي   ملأ الدلو بركة الحيتان



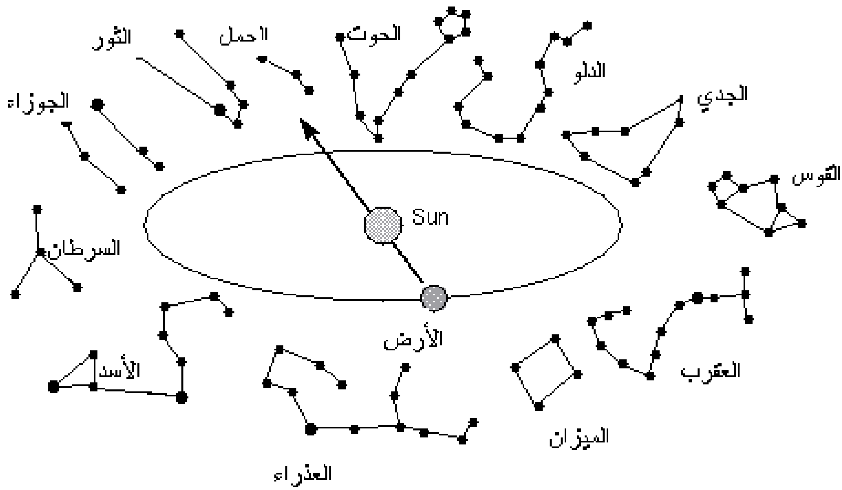
الشكل (1-9) يوضح كيفية تحديد مواقع النجوم بدلالة الكوكبات

هذه البروج الاثنتي عشرة ليست على استقامة واحدة بل تؤلف شريطاً دائرياً على كرة السماء تتحرك عليه الشمس والقمر والكواكب السيارة (الشكل 1−10) وقد استخدم القدماء دائرة البروج هذه لتحديد مواقع الأجرام السماوية.

تدور دائرة البروج ظاهرياً من الشرق إلى الغرب في اليوم الواحد دورة كاملة حول موضع شبه ثابت في كرة السماء هو **نجم القطب Polaris** منظوراً إليها من نصف الكرة الشمالي. أمّا من نصف الكرة الجنوبي فتظهر دائرة البروج وكأنها تدور حول موقع قريب

من نجم **سهيل Canopus** ولما كان اتساع البرج هو 30 درجة فإن طلوعه كاملاً يستغرق بالمعدل ساعتين (وفي حقيقة الأمر أن هذا المعدل يعتمد على موقع الراصد على الأرض). وعلى هذا تتحرك القبة السماوية بمعدل 15 درجة لكل ساعة أي درجة واحدة كل 4 دقائق.

تظهر النجوم من جهة المشرق مبكّرة كل ليلة بمدة 4 دقائق وذلك لأن الأرض تتحرك في مدارها حول الشمس درجة واحدة بالتقريب كل 24 ساعة. ولهذا السبب ينقص اليوم محسوباً بالمقياس النجومي 4 دقائق عن اليوم الشمسي الذي مقداره 24 ساعة بالضبط.



شكل(10-1) يبين البروج الاثني عشر

سمى البرج الذي في أفق المشرق لأي وقت **البرج الطالع Ascending sign** ويسمى البرج الغارب الذي يكون في أفق المغرب **الغارب Descending** وهذا هو عادةً البرج السابع من الطالع لأن نصف كرة السماء تحوي عند أي وقت ست بروج. ويسمى البرج الذي في وسط السماء **وتد العاشر أو منتصف السماء Midheaven** ويسمى نظيره الذي تحت كرة الأرض **وتد الرابع** لأنه الرابع من الطالع.

ويمكن معرفة الأوتاد والغارب من الطالع حسب القواعد التالية:

وتد الرابع = الطالع +3

الغارب = الطالع +6

وتد العاشر = الطالع +9

مثال(1): إذا كان الطالع هو 10 درجة من الجدي فما هو الغارب؟

الجواب: البرج الغارب = 10+6 = 16 أي هو البرج الرابع وهو برج السرطان. لذا فإن الغارب هو 10 من السرطان.

مثال(2): إذا كان الغارب هو 17 درجة من الثور فما وتد الرابع؟

الجواب: وتد الرابع = الطالع +3 والطالع

الطالع = الغارب −6 = 2−6 =−4 أي البرج الثامن وهو العقرب

وتد الرابع = 8 +3 = 11 أي الدلو. لذا فإن وتد الرابع هو 17 درجة من الدلو.

ويمكن حل المسألة مباشرة بطرح 3 من الغارب لأن الفرق بين الغارب والرابع هو 3 بروج. وسنجد النتيجة نفسها.

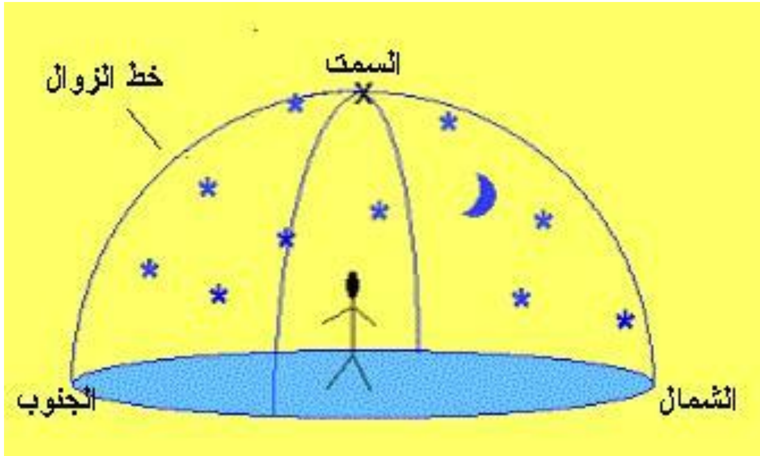
تلعب البروج دوراً مهماً في تحديد مواقع الشمس والقمر وبقية الأجرام السماوية، فهي إحداثيات عرفية شبه ثابتة ومن السهل التعرف عليها. وكما أسلفنا فإن لدائرة البروج حركتين: الأولى يومية وهي دورانها حول الأرض دورة كاملة بالتقريب كل 24 ساعة. والثانية سنوية وهو دورانها حول الأرض دورة كاملة في مدة 365 يوماً وربع بالتقريب، وهذا ما سيتم توضيحه عند مناقشة حركة الشمس في البروج.

خارطة السماء

تعريفات أساسية

لغرض فهم الحركة السماوية للشمس والقمر وللنجوم والكواكب السيارة وبقية الأجرام فهماً صحيحاً فلا بد من اختيار نظام مناسب لتعيين إحداثيات الأجرام السماوية بشكل صحيح، وإذا كان الأقدمون قد وجدوا في نظام البروج والكوكبات النجمية مرجعاً قياسياً لتحديد مواقع الأجرام السماوية المتحركة فإن ذلك النظام المرجعي كان مقبولاً بما يتناسب مع دقة أرصاداتهم.

ولغرض التعرّف على الأنظمة الحديثة في تعيين مواقع الأجرام السماوية، لا بد من التعرّف أولاً على جملة من المفاهيم الأساسية والاصطلاحات المتعلقة بهذا الموضوع، وهذه هي:



الشكل (1-11) القبة السماوية

نقطة السمت Zenith

وهي نقطة تقع على كرة القبة السماوية مباشرةً فوق الراصد وعلى امتداد الخط الشاقولي المار بمركز الأرض.

نقطة النظير Nadir

وهي النقطة التي تقع أسفل القبة السماوية تحت موقع الراصد وعلى امتداد الخط الشاقولي المار بمركز الأرض والنافذ إلى الجهة الأخرى.

القطب السماوي الشمالي North Celestial Pole

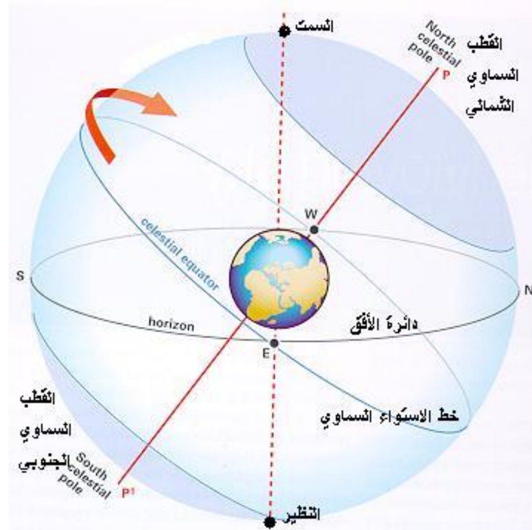
وهو نقطة وهمية على القبة السماوية تقع على امتداد الخط المار بمركز الأرض والقطب الشمالي الأرضي.

القطب السماوي الجنوبي South Celestial Pole

وهو نقطة وهمية على القبة السماوية تقع على امتداد الخط المار بمركز الأرض والقطب الجنوبي الأرضي.

خط الاستواء السماوي Celestial Equator

وهو دائرة العظمى على كرة السماء تقسمها نصفين وتكون موازية تماماً لخط الاستواء الأرضي.



الشكل (12-1) تعيين احداثيات القبة السماوية

دائرة زوال الراصد Observer's Meridian

وهي الدائرة العظمى التي تمر بالقطبين السماويين الشمالي والجنوبي عمودية على دائرة الاستواء السماوي مارة بنقطة السمت والنظير، لذلك فإن خط زوال الراصد هو جزء من الدائرة العمودية التي قطباها المشرق والمغرب.

دائرة الأفق Horizon Circle

وهي الدائرة العمودية على دائرة زوال الراصد وحدودها على أرض مستوية مدى النظر حيث تلتقي السماء بالأرض من كافة الجهات.

دائرة الأفق الفلكي Astronomical Horizon

وهي الدائرة السماوية العظمى العمودية على دائرة زوال الراصد ومركزها مركز الأرض نفسه.

خط العرض Latitude

وهي المسافة الزاوية لأي مكان على الأرض شمال وجنوب خط الاستواء ويعطي العلامة (+) إذا كان المكان شمال خط الاستواء و (-) إذا كان المكان جنوبه، ويكون خط الاستواء هو المثابة المرجعية (خط صفر) والقطبين الشمالي 90 + والجنوبي 90.0 - على التوالي.

خط الطول Longitude

وهو المسافة الزاوية لأي مكان على الأرض شرق وغرب **مدينة** غرينج (قرب لندن) وهي المثابة المرجعية (خط صفر) وما كان شرقاً يتبع مقداره بالحرف E وما كان غرباً بالحرف W.

مدار السرطان

وهو دائرة اصطلاحية تقع عند خط عرض 23.5 درجة شمال تكون الشمس عمودية عليها وقت الظهيرة يوم الانقلاب الصيفي.

مدار الجدي

وهو دائرة اصطلاحية تقع عند خط عرض 23.5 درجة جنوب تكون الشمس عمودية عليها وقت الظهيرة يوم الانقلاب الشتوي.

الدائرة الكسوفية Ecliptic

وهي الدائرة العظمى التي تتحرك عليها الشمس حركتها الظاهرية خلال العام. وتميل هذه الدائرة بمقدار 23.5 درجة قوسية بالتقريب على دائرة الاستواء السماوي. هذه الدائرة هي أيضاً دائرة مسار الأرض حول الشمس. وقريبا منها مسار حركة الكواكب السيارة في دائرة البروج.

دائرة البروج Zodiac

وهي شريط دائري عريض تتوزع عليه الكوكبات الاثني عشر المشهورة المسماة بالبروج. وسط هذا الشريط تقع الدائرة الكسوفية، وهذا ما جعل البعض يخلط بين الدائرتين.

تعريفات وضعية

هنالك تعريفات لأوضاع الأجرام السماوية بعضها بالنسبة إلى البعض الآخر وهذه هي:

الاقتران Conjunction :وهو أن يكون الجرمين على استقامة واحدة بالنسبة للناظر، أي تكون الزاوية بينهما صفراً.

التسديس Sextant :وهو أن يكون بين الجرمين زاوية مقدارها ستون درجة، وذلك سدس الدائرة.

التربيع Quadrant :وهو أن يكون بين الجرمين زاوية مقدارها تسعون درجة، وذلك ربع الدائرة.

التثليث: وهو أن يكون بين الجرمين زاوية مقدارها مائة وعشرون درجة، وذلك ثلث الدائرة.

التقابل Opposition: وهو أن يكون بين الجرمين زاوية مقدارها مائة وثمانون درجة.

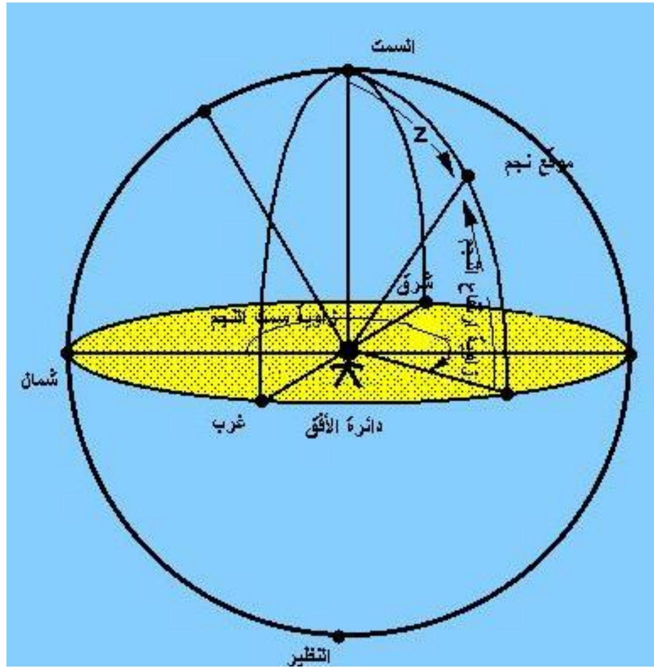
نظم الإحداثيات الفلكية

إن أبسط طريقة لتحديد موقع نجم في السماء هو تعيين الكوكبة التي ينتمي إليها أولاً . فمثلاً نقول أن النجم يقع في كوكبة الجبار. ثم يتم ترميز نجوم الكوكبة بحروف الهجاء اليونانية فيرمز إلى أسطع نجوها بالحرف α والى الثاني في السطوع بالحرف β وهكذا. مثال ذلك فإن أسطع نجوم كوكبة الجبار هو بيت القوس Betelgeuse ويسمى αOrionis والثاني هو نجم الرجل المسمى βOrionis وهكذا يمكننا تحديد واقع هذه النجوم بعد تسميتها وتحتوي الجداول والكتلوكات الفلكية هذه الرموز والأسماء.

إلا أن الفلكي يحتاج إلى تحديد أكثر دقة لمواقع الأجرام السماوية وبما يجعله قادراً على استخدام تلك المواقع في الحسابات الفلكية. لذلك تم اعتماد نظامين لتعيين مواقع الأجرام السماوية هما:

1. **نظام الأفق**: Horizon System

وهو الذي يتخذ من موقع الراصد ودائرة افقه أساساً لتعيين مواقع الأجرام على القبة السماوية وذلك بدلالة زاويتين: الأولى تسمى **زاوية الارتفاع** Altitude وهي الزاوية التي يصنعها موقع النجم مع سطح الأرض (دائرة الأفق) والثانية تسمى **زاوية**



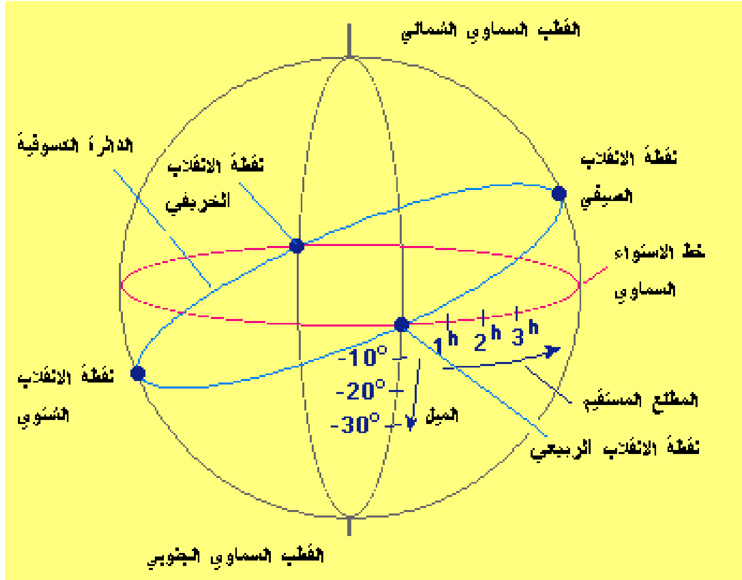
الشكل(13-1) نظام الأفق

السمت Azimuth وهي زاوية على الأفق تبدأ من خط الشمال الجغرافي باتجاه عقرب الساعة حتى مسقط الخط الواصل بين النجم والراصد وكما مبين في الشكل (1−13). من الواضح أن هذا النظام محلي يعتمد على موقع الراصد على الأرض.

2. النظام الاستوائي: Equatorial system

وفيه يتعرف موقع الجرم السماوي بدلالة احداثيين هما: **المطلع المستقيم** Right Ascension و**الميل** Declination، كما مبين في الشكل(1−14). وهذا النظام يتخذ من دائرة الاستواء السماوي أساساً لتحديد موقع الجرم السماوي ففيه تقسم هذه الدائرة إلى 24 ساعة، وتعتبر نقطة الاعتدال الربيعي (وهي موضع تقاطع دائرة الاستواء السماوي مع الدائرة الكسوفية وهي حالياً في رأس برج الحوت) هي نقطة الصفر، ومنها يبدأ التقسيم

على كرة السماء من الغرب إلى الشرق. أما الميل فهو مقدار الزاوية بين خط الاستواء السماوي وموقع النجم. فإذا كان موقع النجم أعلى شمال خط الاستواء السماوي كانت زاوية الميل موجبة أما إذا كان موقع النجم جنوبه فإن زاوية الميل تكون سالبة. ومن الجدير بالذكر أن الاحداثيات الاستوائية لأي جرم سماوي لا تعتمد على موقع الراصد. لذلك تكتب مواقع النجوم الثابتة في كتالوجات خاصة يتم تحديثها كل 50 سنة.



الشكل(**14-1**) نظام الإحداثيات الإستوائية

أمثلة على تحديد الاحداثيات:

مثال ذلك نجم في نصف الكرة السماوية الشمالي إحداثياته بدلالة النظام الأفقي هي: Alt 25 44, Azm 55 17

ونجم آخر له احداثيات بدلالة النظام الاستوائي هي:

RA: 02 15 DEC: +42 12.

جدول (1–2) يبين مواقع البروج في نظام الإحداثيات الاستوائية

البرج	المطلع المستقيم (بالساعات)	
	من	إلى
الحمل	02 00	04 00
الثور	04 00	06 00
الجوزاء (التؤمان)	06 00	08 00
السرطان	08 00	10 00
الأسد	10 00	12 00
السنبلة (العذراء)	12 00	14 00
الميزان	14 00	16 00
عقرب	16 00	18 00
قوس	18 00	20 00
جدي	20 00	22 00
دلو	22 00	24 00
حوت	00 00	02 00

الفصل الثاني

حركات السماء

الحركة اليومية للقبة السماوية

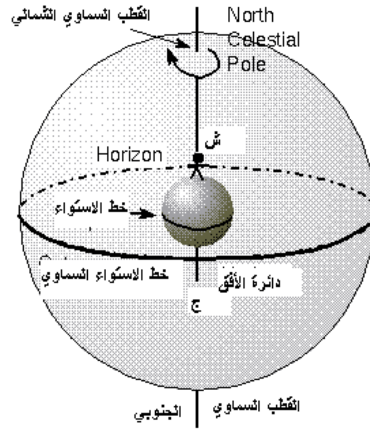
تتحرك القبة السماوية كجُملة واحدة حركة ظاهرية تبدو فيها أجرام السماء أنها تدور حول الأرض من الشرق إلى الغرب دورة كاملة في اليوم. وتسمى هذه حركة القبة السماوية، حيث تظهر الشمس وكأنها تدور حول الأرض نهاراً بهذه الحركة ويظهر القمر والنجوم بهذه الحركة ليلاً. وتختلف صورة السماء وحركاتها بالنسبة للراصدين في مواقع مختلفة من الأرض كما سنبين في الفقرة التالية.

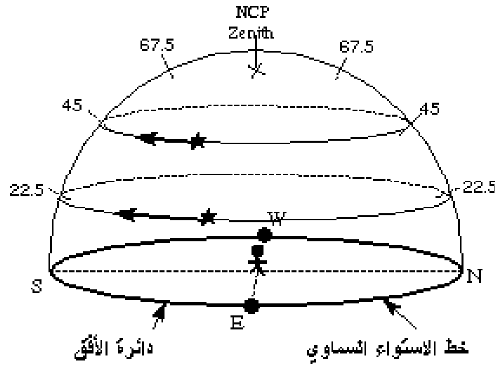
إن السبب الحقيقي لهذه الحركة هو دوران الأرض حول محور لها دورة كاملة كل 24 ساعة. ونستدل على ذلك من إختلاف حركة الأجرام السماوية بين ما هو في كرة النجوم الثابتة أو ما يسمى دائرة البروج عن الحركة الذاتية للشمس والقمر. فإن في تخالف هذه الحركات وانتقال الشمس في البروج دلالة على تفاوت حركة القبة السماوية والحركات الذاتية للشمس والقمر كما سنبين لاحقاً.

صورة السماء من مواضع مختلفة

إن للموقع الجغرافي للمشاهد أثر مباشر في تحديد صورة السماء وذلك لأن موقع المشاهد يحدد سمته ودائرة أفقه. وابتداءً ينبغي أن نتذكر أن جميع نجوم نصف الكرة الشمالي تدور حول نجم القطب الذي يقع في سمت القطب الشمالي الجغرافي للأرض وفيما يلي بعض الأمثلة على صورة السماء كما تبدو للراصد من مواقع مختلفة:

الحالة الأولى: راصد يقف عند القطب الشمالي الجغرافي (خط عرض 90 درجة شمال) سيرى نجم القطب في سمته تماماً.



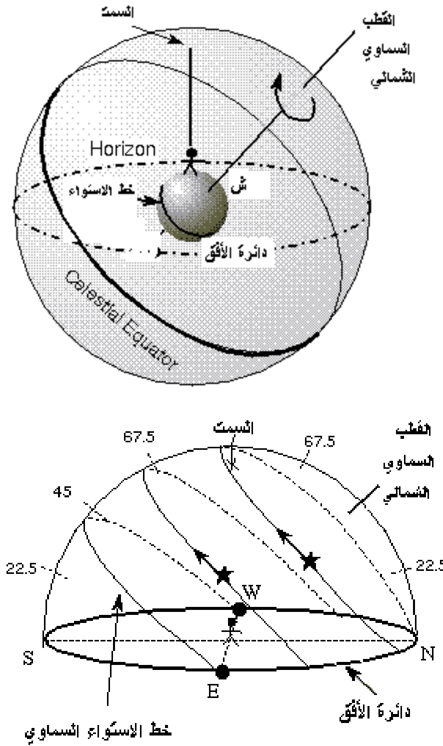


الشكل (1-2) منظر السماء كما يراها راصد يقف عند القطب الشمالي

وسيكون خط الاستواء السماوي محاذياً لدائرة الأفق. ومثل هذا الراصد سيرى نجوم نصف الكرة الشمالي فقط ولن يتمكن من رؤية نجوم نصف الكرة الجنوبي، أمّا بالنسبة لحركة نجوم القبة السماوية فإنه سيراها تدور في دوائر متحدة المركز حول نقطة سمته تماماً، وهذه النجوم لا تشرق ولا تغرب بل تبقى أبدية الظهور (انظر الشكل1-2).

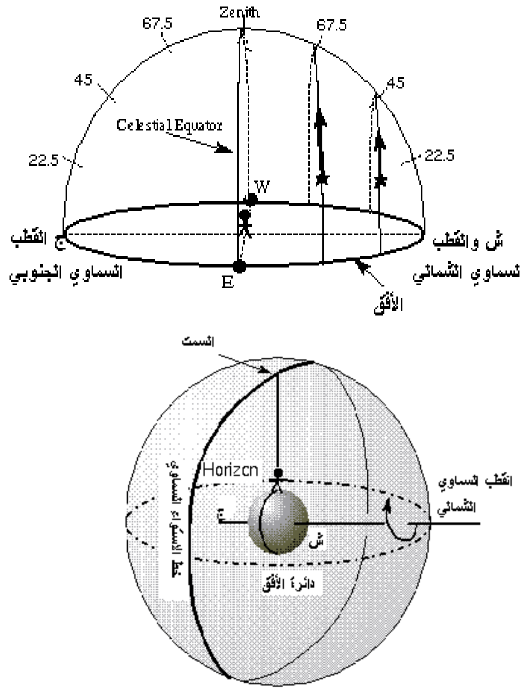
الحالة الثانية: راصد يقف على خط عرض 45 شمالاً سيرى نجم القطب بزاوية ارتفاع قدرها 45 درجة فوق الأفق، أمّا دائرة الاستواء السماوي فسوف تمر

من نقطة سمته تماماً. وفي هذه الحالة فإنه يرى نصف نجوم الكرة الشمالية ونصف نجوم الكرة الجنوبية، وسيرى مدارات هذه النجوم على شكل دوائر تمركز حول القطب مائلة بزاوية 45 درجة (انظر الشكل2-2).



شكل (**2-2**) منظر السماء كما يراها راصد يقف عند خط عرض **45** درجة شمالاً

الحالة الثالثة: راصد يقف على خط الاستواء الأرضي (خط عرض صفر) يكون خط الاستواء السماوي فوق سمته تماماً، وسيرى نجم القطب عند حافة الأفق تماماً، ويرى نجوم السماء تطلع من الشرق تماماً وتغيب في الغرب تماماً، وبهذا فهو يستطيع أن يرى نجوم نصفي الكرة الشمالي والجنوبي معاً (انظر الشكل 3-2).

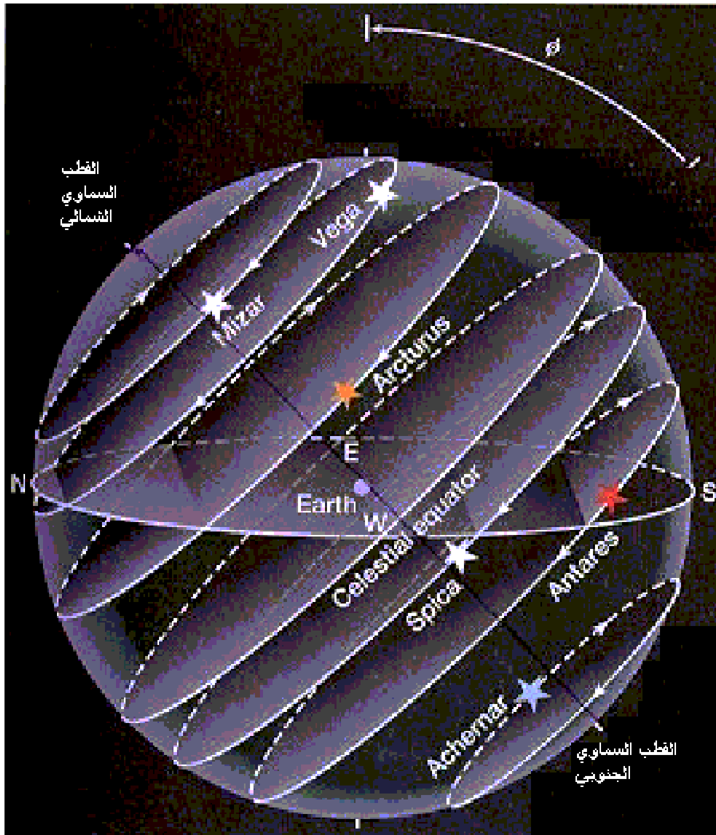


الشكل (2-3) منظر السماء كما يراها راصد يقف عند خط الإستواء

الكوكبات والنجوم أبدية الظهور

رأينا من البند السابق أن مظهر السماء يعتمد على موقع الراصد، وبالأخص يعتمد ذلك على خط العرض الذي يكون عنده الراصد. فعند قطب الأرض الشمالي تكون جميع كوكبات ونجوم نصف الكرة السماوية الشمالي ظاهرة للراصد على الدوام. أما الراصد الذي عند القطب الجنوبي فيرى جميع كوكبات ونجوم نصف الكرة السماوية الجنوبي ظاهرة على الدوام. تسمى تلك النجوم التي تقطع السماء دوما دون أن تختفي "أبدية الظهور" Circumpolar. أما الراصد الذي هو عند خط الاستواء فإنه لن يرى نجوماً أبدية الظهور وذلك لأن جميع النجوم التي تظهر له في السماء تختفي بعد وقت غروبها في المغرب. أما بالنسبة إلى الراصد الذي يكون موقعه بين خط الاستواء وأحد القطبين فإن النجوم التي هي أبدية الظهور بالنسبة له ستكون تلك التي يكون ارتفاعها أكبر من $90 - \Phi$ (حيث خط Φ هي عرض

الراصد). وكذا الأمر بالمقابل لمن كان في نصف الكرة الجنوبي. وكما في الشكل (2-4) فإن نجم المئزر Mizar هو أبدي الظهور بالنسبة للراصد في نصف الكرة المعطى خط عرضه في الرسم. أما نجم آخر النهار Achernar فهو أبدي الخفاء بالنسبة له.



الشكل (2-4) النجوم الكوكبات أبدية الظهوروالخفاء

حركة الشمس في السماء

الحركة اليومية

تتحرك الشمس ظاهرياً في دورة كاملة حول الأرض في اليوم، إذ تشرق صباحاً في الشرق لتتحرك على قوس مسارها في السماء متجهة إلى حيث تغيب غرباً. ثم تشرق ثانية صباح اليوم التالي من نفس الجهة. خلال مسيرها الظاهري اليومي تتحرك الشمس على قوس دائرة عظمى في كرة السماء. وعند منتصف المسافة على كرة السماء بين

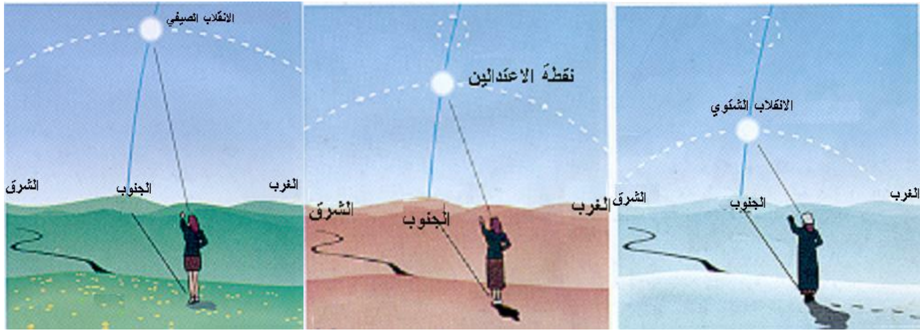
الشروق والغروب تكون الشمس في أعلى نقطة لها بالنسبة إلى الأفق، وعند هذه النقطة يكون وقت الظهر والمُسمى وقت الزوال (لأن الشمس تعبر خط زوال الراصد عند



الشكل (2-5) زاوية ارتفاع الشمس

هذا الوقت) قد حل. هذه الحركة الدائبة بين غروبين متتاليين للشمس تعرّف لنا **اليوم الشمسي** بالاصطلاح الإسلامي، إذ يبدأ اليوم عند المسلمين عند غروب الشمس. ويعرّف اليوم الشمسي بالاصطلاح الفلكي المعاصر أنه الفترة الزمانية بين ظُهرين متتالين، أي عبورين متتاليين لخط الزوال. وهذه الفترة ثابتة على مدى جميع فصول السنة ومقدارها 24 ساعة بالضبط. بإمكاننا من خلال مراقبة ظل أي شاخص على سطح الأرض أن

نتعرّف إلى اختلاف مواقع الشمس في السماء باختلاف الفصول. راقب ظلك الماثل على أرض مستوية فمنه تستطيع دراسة حركات الشمس الظاهرية اليومية والفصلية، إن الخط الوهمي الواصل بين نقطة نهاية ظلك على الأرض وقمة رأسك والشمس يؤشر الارتفاع الزاوي للشمس، ومقداره الزاوية التي يصنعها هذا الخط الوهمي مع الخط الذي يصنعه الظل على الأرض (انظر الشكل2−5) لا بد أنك ستلاحظ أن اتجاه الظل يكون على الدوام معاكساً للاتجاه الذي توجد فيه الشمس، وأن طول الظل يتغير مع تغير الارتفاع الزاوي للشمس. ففي ساعات الصباح يكون الظل طويلاً ممتداً بينما يكون عند الظهر أقصر ما يكون (ولو كنت عند خط الاستواء تماماً لأصبح طوله عند الظهر صفراً بالضبط).



الشكل (2-6) اختلاف ميل الشمس بحسب الفصول

ولو راقبت ظلك على مدار السنة فإنك ستلاحظ أن ظلك في ظهيرة أيام الصيف يكون أقصر منه في أيام الشتاء، مما يعني أن الشمس تكون أكثر ارتفاعاً في الصيف ولذا يقال أن الشمس تكون شبه عمودية صيفاً، بينما تكون مائلة شتاءاً، ولو أنك راقبت طول ظلك لظهيرات عديدة أيام الصيف فإنك ستجده أقصر ما يكون عند ظهيرة يوم معين، وهذا اليوم هو 21 حزيران (يونيو) من كل عام وعنده يحصل الانقلاب الصيفي Summer Solstice وفيه يكون النهار على أطول ما يكون، والليل على أقصر ما يكون، فيما لو أنك راقبت طول ظلك في الشتاء فإنك

ستجد طول ظلك يصبح على أطول ما يكون في يوم معين وهو 21 كانون الأول (ديسمبر) وعنده يحصل الانقلاب الشتوي Winter Solstice وفيه يكون النهار على أقصر فتراته والليل على أطول فتراته، والارتفاع الزاوي للشمس فيه وقت الظهر أقل ما يكون.



الشكل (2-7) تغير مشرق الشمس

في منتصف الفترة ما بين الانقلاب الصيفي والانقلاب الشتوي يحصل الاعتدال الخريفي Autumnal Equinox حيث تشرق الشمس من الشرق الجغرافي تماماً وهو يقع في حدود يوم 21 أيلول (سبتمبر)، وما بين الانقلاب الشتوي والانقلاب الصيفي يقع الاعتدال الربيعي Vernal Equinoxفي حدود يوم 21 آذار (مارس)، وفيها يكون ظلك متوسطاً بين أقصره وأطوله. كما يتساوى طول الليل والنهار في هذين اليومين من أيام السنة. إن هذه الفترة التي أشّرها طول ظلك ما بين طول أقصى وقصر أدنى وطول أقصى تعرف وحدة للزمن وهي السنة الشمسية Solar Year.

حركة الشمس في المشارق والمغارب

إن التغيرات الفصلية في موقع الشمس وقت الظهيرة تتعلق بالتغيرات الدورية للمشارق والمغارب، فالشمس تشرق على راصد يقع عند خط الاستواء يوم الإعتدال الربيعي في نقطة تسمى **مشرق الاعتدالين**. وتسير ظاهريا ذلك اليوم على قوس في السماء يقع على خط الاستواء السماوي تماماً فتكون الشمس عمودية ظهر ذلك اليوم على الراصد عند خط الإستواء. أي يكون طول ظل الشاخص عنده صفراً، وتكون الشمس في سمت الراصد تاماً. وتغيب شمس ذلك اليوم في نقطة على خط الاستواء تسمى **مغرب الاعتدالين**.

يقول الله تعالى [**رَبُّ الْمَشْرِقَيْنِ وَرَبُّ الْمَغْرِبَيْنِ**] (الرحمن:17)

وفي اليوم التالي تُشرق الشمس في نقطة إلى الشمال قليلاً من مشرقها يوم الاعتدال الربيعي وهكذا تنتقل في المشارق أكثر قليلاً من ربع درجة كل يوم حتى تبلغ أقصى مشارقها الشمالية بعد حوالى 90 يوماً حين تشرق يوم الانقلاب الصيفي عند خط عرض 23.5 درجة شمال وهو مدار السرطان، ويسمى مشرقها هذا **مشرق الإنقلاب الصيفي**. فتكون عمودية على الراصد عند هذا الخط ظهيرة ذلك اليوم. وتغيب في نقطة على مدار السرطان تسمى **مغرب الانقلاب الصيفي**. ثم تبدأ مشارق الشمس بالنزول كل يوم أكثر قليلاً من ربع درجة حتى تبلغ بعد 90 يوماً مشرق الإعتدالين عند خط الاستواء. فتتحك ذلك اليوم مثل حركتها يوم الاعتدال الربيعي ثم تغيب في نقطة هي مغرب الإعتدالين. لكن الوقت الآن هو الخريف وليس الربيع لذلك سمي مشرق الشمس ومغربها هذا مشرق الاعتدالين ومغرب الاعتدالين. بعد ذلك تنحرف مشارق الشمس جنوباً حتى تشرق من موقع هو في الجنوب الشرقي هو أقصى ما تصله على مدار السنة، ويكون عند خط عرض 23.5 جنوباً وهو المسمى مدار الجدي. ويكون ذلك يوم الانقلاب الشتوي، لذلك يسمى مشرقها **مشرق الانقلاب الشتوي** وتكون الشمس عمودية ظهيرة ذلك اليوم

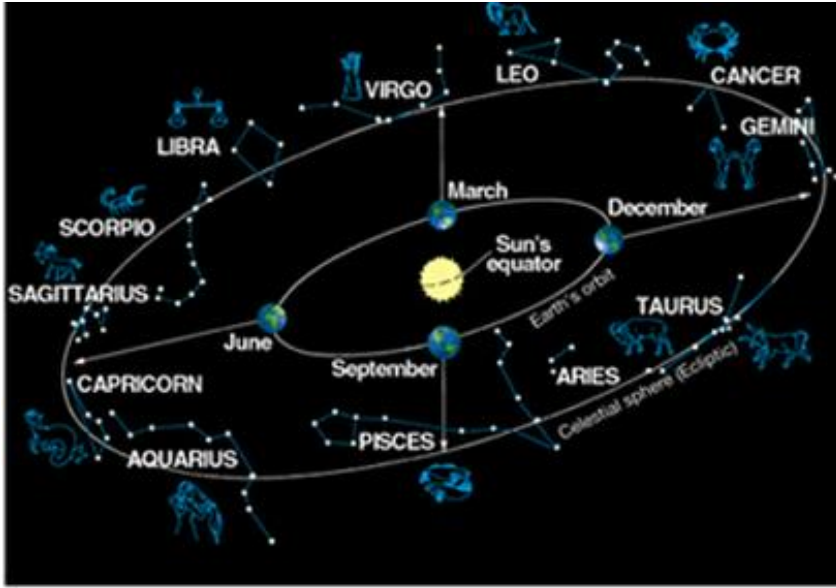
على الراصد عند مدار الجدي ثم تمضي الشمس إلى مغربها المسمى **مغرب الانقلاب الشتوي** عند نقطة على مدار الجدي. ثم تتحرك مشارق الشمس شمالاً حتى تبلغ بعد تسعين يوماً مشرق الاعتدالين مرة ثانية. وبذلك تكون قد أكملت حركتها في المشارق والمغارب على مدار سنة فصلية كاملة. يوضح الشكل (2-7) والشكل (2-10) حركة الشمس في المشارق والمغارب. يقول لله تعالى

[فَلا أُقْسِمُ بِرَبِّ الْمَشَارِقِ وَالْمَغَارِبِ] (المعارج: من الآية40)

ولحساب مقدار معدل حركة الشمس في المشارق والمغارب نقول أن الشمس تتحرك على مدى 47 درجة من مشرق الإنقلاب الصيفي إلى مشرق الإنقلاب الشتوي خلال 180 يوماً أي تقطع حوالي 0.26 درجة بالتقريب.

حركة الشمس في البروج

تتحرك الشمس على دائرة البروج قياساً إلى مواقع الكوكبات البروجية الثابتة على مدار السنة حركة دورية. ونظراً لعدم إمكان رؤية النجوم نهاراً، فلا بد من متابعة موقع الشمس بالنسبة إلى الكوكبات البروجية قبيل الشروق أو بعيد الغروب. ولو فعلنا هذا مع المغارب مثلاً لوجدنا الشمس تغرب عند كوكبة التوأمين أي برج الجوزاء في 21 حزيران (يونيو) ولكننا نجدها بعد هذا بشهر أي في 21 تموز (يوليو) تغرب في كوكبة السرطان.



الشكل (2-8) حركة الشمس في البروج

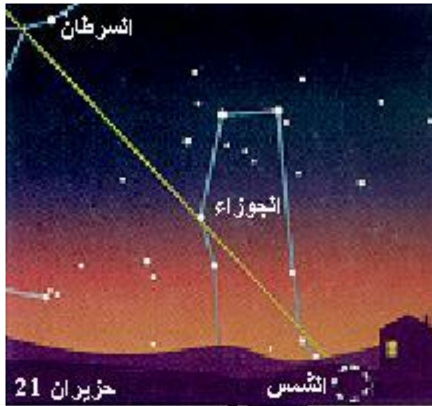
وسبب ذلك هو دوران الأرض حول الشمس، ففي حين تقطع الأرض درجة قوسية واحدة في اليوم من مدارها حول الشمس تظهر الشمس وكأنها قد تحولت درجة واحدة في الاتجاه المعاكس على دائرة البروج وهكذا حتى يبلغ ذلك ثلاثين درجة أي برجاً كاملاً في شهر واحد واثني عشر برجاً في سنة كاملةأي أن الشمس تتحرك بمقدار درجة واحدة يومياً من الغرب إلى الشرق بينما تتحرك بمقدار 360 درجة يومياً من الشرق إلى الغرب. من الغرب فتقطع الشمس ظاهرياً برجاً من الأبراج في مدة شهر واحد .

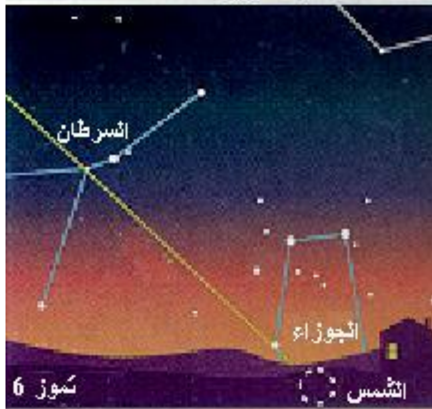
وقد كان القدماء على عصر البابليين يعتمدون شروق الشمس في أول أيام الاعتدال الربيعي في 21 آذار (مارس) مثابةً فيقولون أن الشمس تشرق في رأس برج الحمل في أول يوم للاعتدال الربيعي، ثم تمر على سائر البروج بالتوالي حتى تكون في آخر درجة من درجات برج الحوت في آخر يوم من أيام الشتاء (20 آذار / مارس من العام). وهكذا تتحرك الشمس بالنسبة إلى كوكبات البروج من الغرب إلى الشرق .

وبحسب نظام المنازل العربية فإن الشمس تمكث في كل منزلة 13 يوماً الا الجبهة فإنها تقيم فيها 14 يوماً[1]، وبذلك تكمل عدة السنة 365 يوماً. وقد جعل العرب لكل منزلة من منازل الشمس في البروج نوءاً.

الفصول الأربعة

يميل محور دوران الأرض حول نفسها بزاوية قدرها 23.5 درجة عن العمود النازل على مستوى دورانها حول



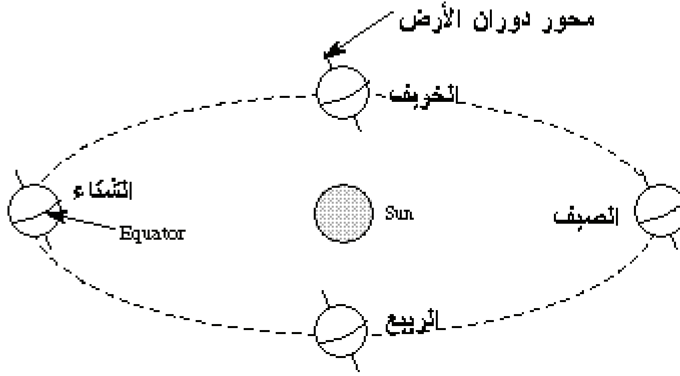




الشكل (2-9) معرفة مواقع الشمس في البروج وحركتها فيها

(1) أنظر إبن عاصم الثقفي (الأنواء والأزمنة).

الشمس (أي على مستوي الدائرة الكسوفية) وهذا الميل ثابت تقريباً لفترات طويلة. ان هذا الميل في محور دوران الأرض حول نفسها يؤدي بالنتيجة إلى تفاوت زاوية ميل أشعة الشمس الواقعة على الأرض، واختلاف الجزء المعرض للشمس من الأرض بحسب اختلاف خطوط العرض فضلاً عن اختلاف فترات النهار والليل بحسب المواقع. وهذا كله يؤدي إلى تعاقب الفصول الأربعة على الأرض، ولو كان محور الأرض عمودياً تماماً على مستوى دورانها حول الشمس لما حصلت التغيرات المناخية ولكان طول الليل مساوياً لطول النهار دائماً.



الشكل (2-10) تحصل الفصول الأربعة بسبب ميل محور الأرض

تكون الشمس في يوم 20 أو 21 آذار (مارس) من كل عام عند نقطة الاعتدال الربيعي Vernal Equinox وهي نقطة تقاطع مسار الشمس الظاهري (الدائرة الكسوفية) مع خط الاستواء السماوي و قديماً كانت تؤشر هذه المثابة على دائرة البروج برأس برج الحمل وتسمى First Point Aries ، وعندها يتساوى الليل والنهار فيصبح طول كل منها 12 ساعة تماماً. وتؤشر هذه النقطة بداية فصل الربيع في نصف كرة الأرض الشمالي. ومن الجدير بالذكر أن الاعتدال الربيعي يحصل حالياً والشمس هي في برج الحوت وليس في برج الحمل كما كان عليه الأمر قديماً، وسبب ذلك ترنّح محور الأرض .

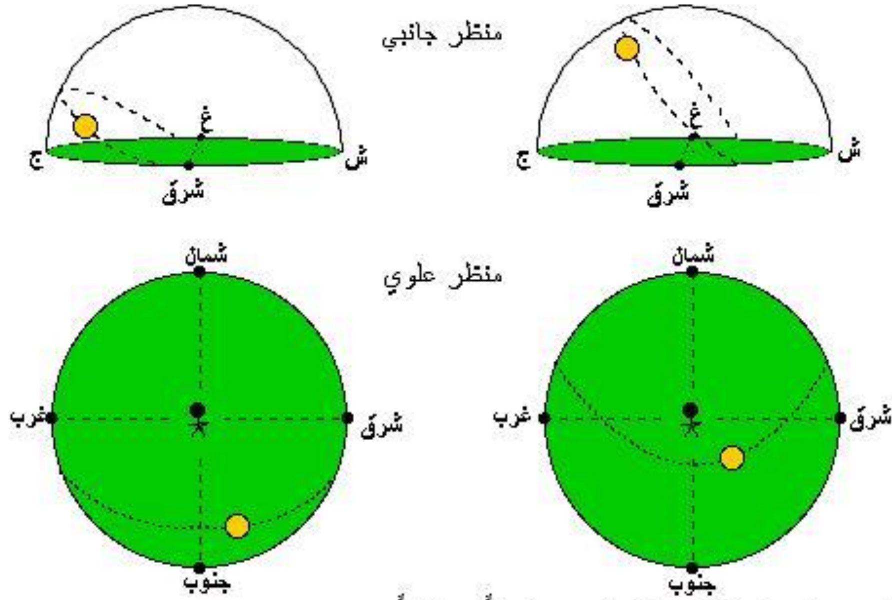
وعند هذا تتغير مشارق الشمس من الجنوب إلى الشمال فيصبح شروق الشمس من نقاط هي إلى الشمال قليلاً من خط الاستواء، حتى تصبح الشمس عمودية على خط عرض 23.5 درجة شمالاً وهو المسمى مدار السرطان، وعندها يحصل الانقلاب الصيفي حيث يصير النهار أطول ما يكون والليل على أقصر ما يكون، ويحصل هذا الانقلاب في حدود 21 حزيران من العام.

وأما نقطة التقاطع الثانية لدائرة البروج (مسار الشمس الظاهري) مع دائرة الاستواء السماوي فتحدث في حدود 23 أيلول (سبتمبر) من كل عام حيث تكون الشمس قد حلت في برج العذراء وتسمى هذه النقطة بالاعتدال الخريفي حيث تتغير مشارق الشمس من الشمال إلى الجنوب مؤشراً بداية فصل الخريف، وفي هذا اليوم يتساوى طول الليل والنهار.

ويستمر تغير مشارق الشمس جنوباً حتى تصير بحدود يوم 12/21 عموديةً على خط عرض 23.5 جنوباً وهو المسمى مدار الجدي فيحدث عندئذٍ الانقلاب الشتوي حيث يصبح النهار أقصر ما يكون عليه في نصف الكرة الشمالي وعلى العكس من ذلك يكون في نصف الكرة الجنوبي.

وقد سبق أن وصفنا اختلاف مشارق الشمس على مدار فصول السنة وذكرنا أن الشمس تشرق في الاعتدالين عند الشرق تماما وتغيب جهة الغرب تماماً. أمّا في فصل الصيف فإن الشمس تشرق من الشمال الشرقي وتغيب في الشمال الغربي، قاطعة على مسارها قوساً طويلاً، أمّا في الشتاء فستشرق من الجنوب الشرقي لتغيب في الجنوب الغربي. أنظر الشكل(2-11). وقد ظنّ البعض أن سبب تعاقب الفصول الأربعة على سطح الأرض هو اختلاف بعدها عن الشمس، وهذا مردود من وجوه، أولها أن الأرض تكون أقرب ما يكون إلى الشمس (أي حضيض مدارها) في حدود يوم 3 كانون الثاني من العام، وفي هذا الوقت يكون الشتاء في منتصف الكرة الشمالي على أشد ما يكون. بينما تكون الأرض على أبعد ما يكون عن

الشمس (أوج مدارها) في حدود يوم 4 تموز من العام، وفي هذا الوقت يكون القيض على أشده في نصف الكرة الشمالي، ومن وجه آخر فلو كان البعد والقرب عن الشمس سبباً لتعاقب الفصول لكانت الأرض في أي وقت من العام جميعاً على فصل واحد ولما اختلفت الفصول بين شمالها وجنوبها.



شكل(2-11) يبين حركة الشمس في المشارق والمغارب بحسب الفصول

حركة القمر في السماء

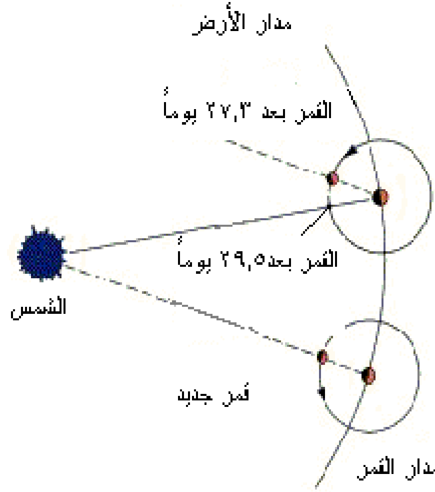
القمر جرم تابع للأرض يدور حولها ويتبعها حيثما سارت في مدارها حول الشمس فكأنها تحمله معها كما تحمل الأم طفلها. والقمر يؤثر في الأرض ويتأثر بها تأثراً كبيراً.

دوران القمر حول الأرض

للقمر حركتان ظاهرتان للعيان بالنسبة للأرض عند مراقبته في ليال متتالية، وهاتين الحركتين هما:

1. **الحركة اليومية** مع جملة السماء حول الأرض من الشرق إلى الغرب مثل حركة الشمس وسائر الكواكب والنجوم وذلك بسبب دوران الأرض حول نفسها دورة كاملة في اليوم والليلة وهذه حركة ظاهرية صرف.

2. **الحركة الشهرية** من الغرب إلى الشرق: وهي أبطأ من الحركة الظاهرية الأولى، ويمكن ملاحظتها بمراقبة الموقع النسبي للقمر قياساً إلى نجم قريب لامع إذ يكن للراصد أن يلحظ أن القمر يتحرك شرقاً بسرعة زاوية قدرها 0.55 درجة في الساعة. وخلال هذه الحركة يدور القمر حول الأرض دورة كاملة كل سبعة وعشرين يوماً وثلثاً بالتقريب، وتسمى هذه المدة الشهر النجومي Sidereal Month. كما نتمكن من ملاحظة هذه الحركة بصورة أكثر وضوحاً عند مراقبة موقع القمر عند ظهوره بُعيد الغروب يومياً، فنجد أن موقعه منزاح إلى الشرق بمقدار 12.2 درجة يومياً عن الذي بزغ عنده في اليوم الفائت. حتى يصبح موقعه الزاوي منزاحاً بمقدار 180 درجة في منتصف الشهر القمري، وعندها يظهر القمر بدراً.



شكل (2-12) يوضح سبب اختلاف الشهر القمري النجومي عن الشهر الإقتراني

منازل القمر وحركته في البروج

قسم قدماء العرب السماء إلى 28 قسماً متساوية بالتقريب وسموا كل قسم منها "منزلة" وذلك بحسب حركات القمر اليومية فجعلوا لكل يوم منزلة واحدة بالتقريب. واستدلوا على مواقع هذه المنازل بدلالة الكوكبات النجمية القريبة من خط حركة القمر على دائرة البروج، وسمّوها باسم تلك الكوكبات أحياناً وبأسماء الأنواء والأزمنة أحياناً أخرى كما سيأتي بيانه، وهذه مبينة في الجدول (2-1).

ولما كانت كرة السماء مقسمة إلى 12 برجاً فإن كل منزلتين وثلثاً تغطي برجاً كاملاً وكل سبعة منازل تغطي ثلاث بروج، ومدى كل منزلة هو $12\frac{6}{7}$ درجة بالضبط وذلك يعدل 12 درجة و 51 درجة و 25 ثانية قوسية بالتقريب.

والعلاقة بين مواقع هذه المنازل والبروج علاقة مباشرة فمنزلة الشرطين ومنزلة البطين هما في برج الحمل أمّا الثريا فجزء منها في الحمل وجزء منها في الثور، وهكذا

الدبران والهقعة فهي من المنازل التي تقع في برج الثور. أمّا الهنعة فهي في برج الجوزاء، وهكذا

جدول (2−1) أسماء المنازل العربية

1. الشرطين	8. النثرة	15. الغفر	22. سعد الذابح
2. البطين	9. الطرفة	16. الزباني	23. سعد بلع
3. الثريا	10. الجبهة	17. الإكليل	24. سعد السعود
4. الدبران	11. الزبرة	18. القلب	25. سعد الأخبية
5. الهقعة	12. الغرفة	19. الشولة	26. مقدم الدلو
6. الهنعة	13. العواء	20. النعائم	27. مؤخرالدلو
7. الذراع	14. السّماك	21. البلدة	28. بطن الحوت

ومن الجدير بالملاحظة أن مواقع الشمس في المنازل ثابتة على مدار أيام السنة (ولذلك صح ربط المنازل بالأنواء-الفصول) بينما تكون مواقع القمر في المنازل متغيرة. ولقد اهتم العرب بالقمر اهتماماً كبيراً وراقبوا حركته اليومية مراقبة دقيقة، وبه أرخوا التقويم. وقد ذكر القرآن الكريم القمر في 27 آية منها قوله تعالى: [هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُوراً وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إلا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الآيات لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ] (يونس:5)

وقوله تعال [وَالْقَمَرَ قَدَّرْنَاهُ مَنَازِلَ حَتَّى عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيم] (يّس:39)
وللعرب أسجاع جميلة وشعر كثير في منازل القمر حفظتها كتب الأزمنة والأنوار ومعاجم اللغة العربية.

حاشية (2-1) حركة الشمس في المنازل

مثلما تتحرك الشمس ظاهرياً خلال فصول السنة على دائرة البروج فتمكث شهراً كاملاً في كل برج، فإنها تنتقل خلال المنازل فتقطع خلال كل شهر منزلتين وثلثاً، ويمكن معرفة موقع الشمس في أي المنازل هي من معرفتنا في أي درجة من البرج هي وذلك معلوم بالرصد والحساب أيضاً، ومنها نتمكن من معرفة المنزلة التي تكون الشمس فيها. وعلى حين يمكث القمر في المنزلة يوماً واحداً فإن الشمس تمكث في كل منزلة 13 يوماً ما خلا الجبهة فإنها تمكث فيها 14 يوماً، وتلك هي عدة السنة الكاملة 365 يوماً. إن العرب عندما تحدثوا عن طلوع المنازل ومكثها إنما كانوا يعنون حلول الشمس بها وهذا هو مربط الفصول والأنواء بالمنازل.

حساب منازل الشمس والقمر

ليس من الصعب معرفة منزلة القمر لأي يوم يُراد. فالشمس والقمر يكونان في نفس المنزلة في آخر يوم من الشهر القمري. لذلك لو أردنا حساب منزلة القمر في أي يوم كان نظرنا في أي منزلة كانت الشمس آخر يوم من أيام الشهر القمري السابق وجعلنا القمر فيها ثم نزيد على ذلك كل يوم منزلة حتى نبلغ اليوم الذي نريد فيكون القمر في تلك المنزلة. ولابد من الإشارة هنا إلى أن حساب المنجمين يختلف عن حساب الفلكيين ببرج كامل تقريباً لأن المنجمين يجعلون الشمس في أول برج الحمل يوم 21 آذار(مارس) بينما يقرر الفلكيون أنه تكون في هذا التاريخ في برج الحوت.

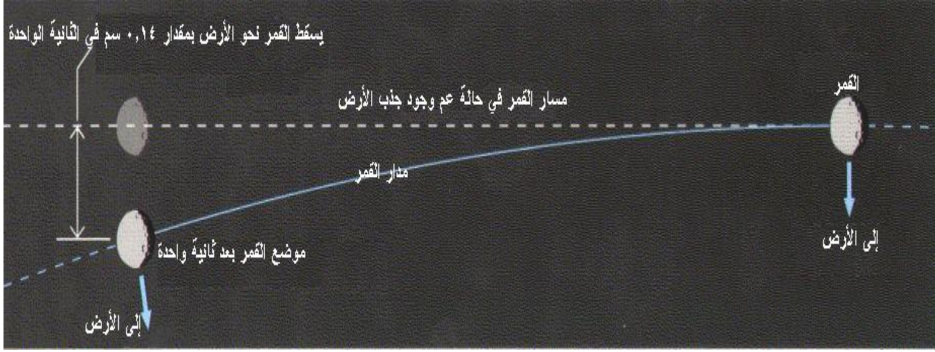
إن حركة القمر في المنازل هي دلالة على حركته بالنسبة إلى الخلفية النجومية، فالقمر يتم دورته حول الأرض بمثابة نجم معين في فترة معدلها 27 يوماً و 7 ساعات و 43 دقيقة و 11.5 ثانية. (أي 27 يوماً وثلثاً بالتقريب). وهذه الفترة هي ما يسمى الشهر النجومي Sidereal Month. ولو راقبنا ظهور القمر قرب نجم معين في أحد الليالي عند وقت معين، لوجدناه في الليلة التالية قد ابتعد عن ذلك النجم إلى جهة الشرق عند نفس الوقت الذي رصدناه فيه في الليلة السابقة. ثم يزداد البعد عن النجم المعين كل ليلة إلى جهة الشرق حتى يدرك القمر النجم ثانية بعد 28 ليلة بالتقريب.

وهكذا فإن حركة القمر في المنازل هي حركته بالمثابة النجومية. لذلك كانت المنازل العربية ثمان وعشرين ولم تكن تسعاً وعشرين.

إن منازل القمر بكونها جزءاً من كرة السماء فإنها تدور حول الأرض دورة كاملة كلّ 24 ساعة، وفي أي وقت من الأوقات تكون كرة السماء الظاهرة فوقنا (نصف الكرة السماوية بالنسبة للراصد) تحتوي على 14 منزلة، وكلما طلعت منزلة من جهة الشرق سقط رقيبها (أي المنزلة المقابلة لها)، ويستغرق طلوع المنزلة الواحدة زمناً قدره 24 ساعة مقسومة على 28 أي 51 دقيقة و 25 ثانية بالتقريب، لذلك يتأخر القمر في شروقه وغروبه مثل هذا الوقت كل يوم.

حاشية (2-2) لماذا لا يسقط القمر على الأرض؟

هو في الحقيقةً يسقط على الأرض كل لحظة لكنه لا يصيبها !! وتفسير ذلك أن كل حركة دورية بين جسمين أحدهما حول الآخر هي على الحقيقة حركة سقوط حر نحو مركز الثقل المشترك بين الجسمين. ويمكن فهم مسألة السقوط الحر المستمر للأجسام الدائرة حول بعضها بمراجعة معلوماتنا عن حركة الجسم المقذوف عالياً. فهذه الأجسام تبدأ بالعودة نحو الأرض حالما يصل إندفاعها نحو الأعلى حده الأدنى. وكل جسم يدور في مجال قوة مركزية إنما يسقط بتسارع نحو المركز.

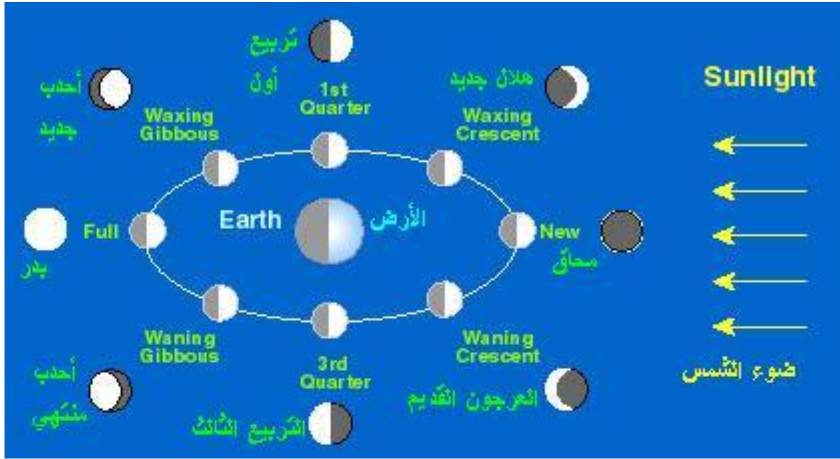


أطوار القمر

يلاحظ المراقب أن القمر يظهر هلالاً نحيفاً جهة الغرب عقيب غروب الشمس أول الشهر القمري ثم يظهر في اليوم التالي بارتفاع زاوية أكبر جهة الغرب أيضا ليغيب بعد حوالي 53 دقيقة من وقت غيابه في اليوم السابق، وهكذا يتزايد نوره بمقدار نصف السبع من نورانية البدر الكامل كل يوم حتى يصير نصف دائرة غربية ويسمى عندئذ تربيع أول ثم يتزايد نوره حتى يصير بدراً في الليلة الرابعة عشر من الشهر القمري، وعندها يكمل نوره، وبعد هذا يبدأ نوره بالتناقص حتى يصير في التربيع الأخير إذ يظهر كنصف دائرة شرقية ويستمر في التناقص حتى يصير عمره 25-27 يوماً يبدو خلالها هلالاً نحيفاً يظهر قبيل الفجر بقليل في الأفق الشرقي، ليختفي بعد ذلك يومين أو ثلاثة يكون خلالها في المحاق مقترناً بالشمس. وتسمى مراحل القمر هذه أطواراً Phases وهي ناتجة عن الموقع النسبي للقمر من الأرض والشمس، فحين يكون القمر في المحاق فهو مقترن بالشمس تماماً إذ يقع معها في مستوٍ واحد.

أمّا حين يبدو القمر هلالاً فإنه يرتفع قليلاً فيضاء جزء منه بأشعة الشمس الساقطة عليه ليظهر قوساً بشكل هلال وليد. ثم تتزايد مساحة الجزء المضاء من القمر كلما ارتفع عن المستوى الذي تقع فيه الشمس والأرض حتى يصير نصفه

مضاءً (التربيع الأول) وعند هذا الطور تكون الزاوية بينه وبين الشمس 90 درجة ثم يرتفع حتى تصبح الزاوية بينه وبين الشمس 180 درجة وعندها تظهر كرة القمر دائرة منيرة تامة الاستدارة. فيبدو القمر بدراً، ثم يتناقص باتجاه معاكس ليظهر في طور(التربيع الأخير)، حتى يصير إلى المحاق ثانية، انظر الشكل(2-13)



شكل(2-13) يبين أطوار القمر

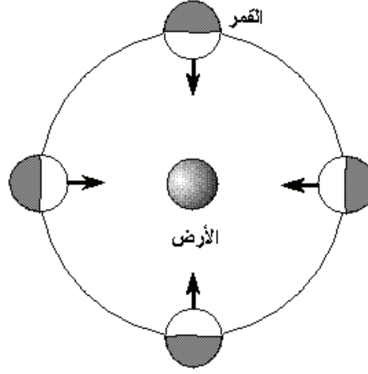
يميل مستوى مدار القمر حول الأرض على مستوى مدار الأرض حول الشمس بحوالي 5 درجات كما أنه يميل عن مستوى خط الاستواء الأرضي، وبهذا فإنه يختلف عن أقمار المشتري وزحل وأورانوس التي تقع مستويات دورانها في مستوى خط استواء كواكبها، كما أن كتلة قمرنا هي 12% من كتلة الأرض على حين أن كتلة أقمار الكواكب الأخرى هي بحدود 0.1% من كتلة كواكبها. ويقوم الفلكيون بدراسة هذه الشذوذات في مدار القمر وكتلته لفهم كيفية نشوءه.

دوران القمر حول نفسه

يتمكن الراصد من خلال مراقبة القمر لشهر كامل أن يستنتج دوران هذا الجرم حول نفسه ويمكن ملاحظة هذه الظاهرة بالنظر إلى موقع معين على سطح

القمر كأن يكون قمة جبل من جباله، فلو راقبنا هذه النقطة لوجدناها تقع في مقابلة الأرض (الراصد) على الدوام، ولما كان القمر يدور حول الأرض دورة كاملة خلال شهر إقتراني(29.5 يوم) فإن هذا معناه أن القمر يكمل حول نفسه دورة كاملة خلال هذه لمدة (أنظر الشكل2-14). وهذا يعني أن سكان الأرض يرون دوماً وجهاً واحداً فقط للقمر على مدار الأعوام والدهور.

الشكل (2–14) يواجه الراصد على الأرض وجهاً واحداً للقمر



حركة الكواكب في السماء

الحركة المستقيمة (الشرقية)

تظهر الكواكب بالنسبة للراصد على الأرض متحركة بحركتين، **الأولى**: هي **الحركة اليومية** العامة للقبة السماوية من الشرق إلى الغرب، حيث تدور الكواكب مع القبة، تطلع مع الكوكبات أو البروج التي هي فيها وتغيب بغيابها. **والثانية**: هي **الحركة الذاتية** للكواكب في دائرة البروج من الغرب إلى الشرق، وهي حركة بطيئة نسبياً لا يكاد يلاحظها إلا الراصد الذي يراقب السماء لبضعة أسابيع. وهذه هي الحركة التي جعلت القدماء يعتقدون بمركزية الأرض ودوران جميع أجرام السماء حولها. ومن الجدير بالذكر أن الكواكب السيارة تتحرك على مسارات قريبة في العادة من الدائرة الكسوفية شمالها قليلاً وجنوبها قليلاً.

تختلف الأجرام السماوية (الشمس والقمر والكواكب) في مدة دورتها الظاهرية حول الأرض، فأسرعها القمر يدور في دائرة البروج في مدة 27 يوماً وثلث اليوم وأبطؤها من المنظورة بالعين المجردة زحل الذي يدور في حوالي 29 سنة ونصف، ومن المنظورة بالتلسكوبات بلوتو الذي تبلغ مدة دورته حوالي 248 سنة . لذلك وضع القدماء ترتيب الأجرام في مداراتها حول الأرض بحسب سرعاتها، فالأقرب هو الأسرع و الأبعد هو الأبطأ. وفيما يلى جدول بمدد دوران الأجرام السماوية في البروج.

الجدول (2-3) مدد حركات الأجرام

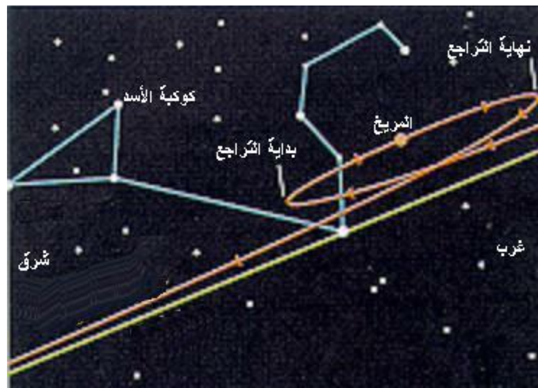
الجرم	مدة الدورة
القمر	27.3 يوم
عطارد	88 يوم
الزهرة	225 يوم
الشمس	365.25 يوم
المريخ	687 يوم
المشتري	12 سنة
زحل	29.5 سنة

إن الراصد الذي على الأرض لا يرى كوكبي عطارد والزهرة إلا قريبين من الشمس عادةً، فيظهر كل منهما عادةً **نجمة صباح** Morning Star و**نجمة مساء** Evening Star. ومن المعلوم أن كوكب الزهرة يظهر أكثر سطوعاً من كوكب عطارد ويمكث في السماء بعد الغروب وقبل الشروق لفترة أطول من مكث عطارد. ولا يقطع أي من هذين الكوكبين كرة السماء، اذ يظهر عطارد في جهة الغرب بعد الغروب بارتفاع لا يتجاوز 23 درجة وهذا ما يسمى **الاستطالة الغربية العظمى**،

وهي بالنسبة لكوكب الزهرة 46 درجة. وكذا الأمر عندما يظهر أي من هذين الكوكبين صباحاً قبيل الشروق حيث تكون لهما **استطالة شرقية عظمى** مثل استطالتهما الغربية. أما بقية الكواكب فتقطع كرة السماء في دورتها. وسنأتي على تفسير هذه الحركات في فصل قادم.

الحركة التراجعية للكواكب

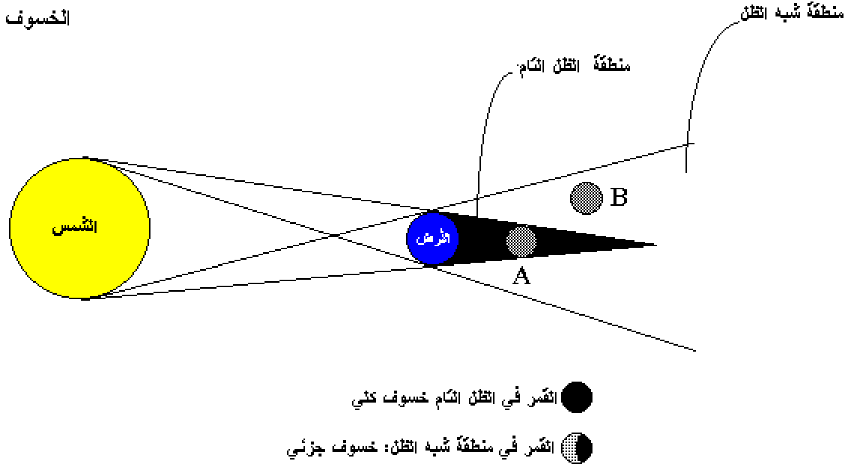
ذكرنا أن الكواكب تتحرك حركتها الذاتية (وليس الحركة اليومية للقبة السماوية) عادةً من الغرب إلى الشرق وتسمى هذه **الحركة المستقيمة** Direct Motion. لكنها تخرق هذه العادة أحياناً فتتحرك باتجاه معاكس أي من الشرق إلى الغرب ويسمى هذا **الحركة التراجعية** Retrograde Motion حيث يتباطأ الكوكب في سيره الاعتيادي حتى يتوقف لبضعة أيام فيقال إنه في **الثبات للرجوع**، ثم يسير متراجعاً فيقال إنه **في التراجع**، ثم يتوقف فيقال إنه في **الثبات للاستقامة** ثم يستقيم على حركته الاعتيادية. وقد لوحظ أن كوكب عطارد يتحرك متراجعاً مرات عديدة في السنة. بينما تتراجع الزهرة مرات أقل، وهكذا بالنسبة إلى المريخ والمشتري وزحل حيث لا تتراجع إلا قليلاً وعلى فترات أطول. ولم يستطع القدماء قبل بطليموس تفسير هذه الحركات التراجعية بصورة مضبوطة. من الضروري ملاحظة أن الشمس والقمر لا تتراجع في حركتها على دائرة البروج بل هي دوماً في الاستقامة.



الشكل(2-15) تراجع المريخ في كوكبة لأسد

الخسوف والكسوف

الخسوف والكسوف ظاهرتان فلكيتان تحدثان وفقاً لسنن الحركات الفلكية السماوية، وبسبب المواقع النسبية للأجرام الرئيسة الثلاثة: الشمس والأرض والقمر. إذ يخسف القمر عندما يحتجب كله أو جزء منه بوقوع ظل الأرض عليه التي تكون بينه والشمس على استقامة واحدة، فتحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر. ويسمى الاحتجاب الكلي خسوفاً كلياً **Total Lunar Eclipse** عندما يقع القمر في منطقة الظل التام. أمّا عندما يقع القمر في منطقة شبه الظل فإن الاحتجاب يكون جزئياً ويسمى الخسوف خسوفاً **جزئياًPartial Lunar Eclipse**. أنظر الشكل(2-16).



الشكل (2-16) ظاهرة الخسوف

وتكسف الشمس عندما يقع ظل القمر على الأرض إذ يكون القمر بين الأرض والشمس وتكون مراكز هذه الأجرام الثلاثة على خط مستقيم. ويمكن أن تحتجب الشمس خلف القمر كلياً حينما تكون المسافة بين الأرض والقمر مناسبة لكي

يغطي قرص القمر قرص الشمس كله، ويسمى هذا كسوفاً كلياً **Total Solar Eclipse**.



الشكل (2-17) كسوف الشمس

أمّا إذا احتجب جزء من قرص الشمس خلف القمر فعندئذ يكون الكسوف كسوفاً جزئياًPartial Solar Eclipse . والكسوف الجزئي على نوعين لا ثالث لهما:

الأول: هو احتجاب قرص الشمس بجزئه الأعظم خلف قرص القمر حتى لا يظهر من الشمس إلا حلقة مضيئة تتوسطها بقعة سوداء، ويسمى هذا النوع "الكسوف الحلقي" Annual Eclipse.



شكل (2-18) الكسوف الحلقي

والثاني: هو احتجاب جزء من قرص الشمس قليلاً كان أو كثيراً ذلك الجزء دون تقيد لمساحة الاحتجاب. ويسمى هذا النوع الكسوف الجزئي Partial Solar Eclipse.



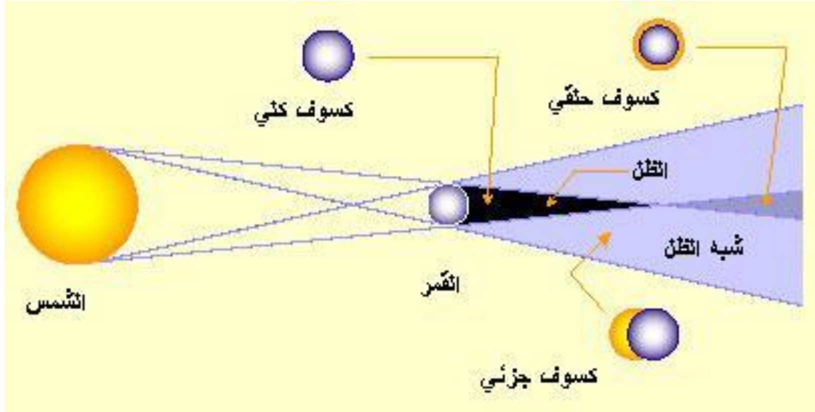
الشكل(2-19) الكسوف الجزئي

أسباب الخسوف والكسوف وشروطها

ذكرنا فيما سبق أن مدار القمر حول الأرض يميل بزاوية مقدارها بحدود 5 درجات على مستوى الدائرة الكسوفية (مدار الأرض حول الشمس). مما يعني أن مدار القمر يقطع مستوى الدائرة الكسوفية كل شهر قمري مرتين في موضعين متقابلين على المدار يسميان العقدتان Nodes. ويُسمى الموضع الذي يتقاطع عنده مدار القمر وهو صاعد العقد الصاعدة Ascending Node والموضع الذي يتقاطع عنده مدار القمر وهو نازل العقدة النازلة Descending Node .

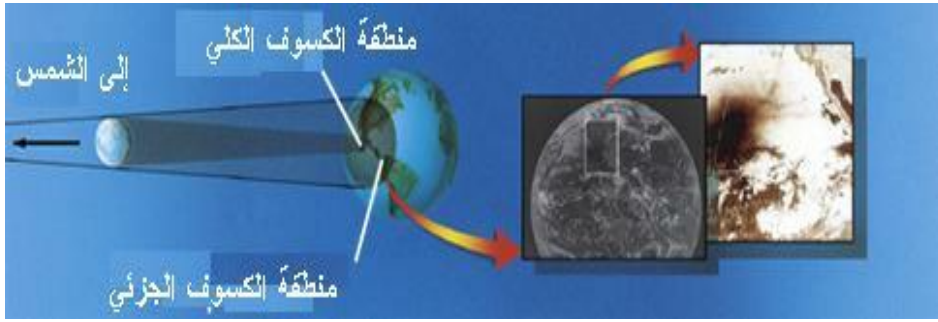
لو كان مدار القمر واقعاً عند مستوى الدائرة الكسوفية نفسه، لحصل خسوف منتصف كل شهر قمري حين يكون القمر بدراً، ولحصل كسوف نهاية كل شهر قمري بالضرورة. إلا أن ميلان مدار القمر بخمس درجات يجعل ظله لا

يسقط على سطح الأرض إلا حين يكون في العقدة الصاعدة أو العقدة النازلة أو قريباً منهما. وكذلك القول بشأن ظل الأرض فلا يسقط على القمر إلا حين يكون في هذه المواضع.



الشكل (2-20) يوضح حدوث الكسوف الكلي عند وقوع القمر بين الأرض والشمس

إن ظل القمر الواقع على الأرض يشكل مخروطاً قاعدته هي قرص القمر ورأسه عند سطح الأرض. فإذا كانت المسافة بين القمر والأرض على أصغرها تقاطع ظل مخروط الظل مع سطح الأرض الكروي مشكلاً بقعة مظلمة بيضوية الشكل يتناسب قطرها عكسياً مع بعد القمر عن الأرض. والراصد الواقف ضمن هذه المساحة البيضوية يرى الشمس منكسفة كسوفاً كلياً ، وتتحرك هذه المساحة البيضوية المظلمة من الغرب إلى الشرق على مسار يسمى مسار الكسوف الكلي Path of Totality وبسرعة تتناسب مع محصلة سرعة دوران الأرض حول نفسها وسرعة دوران القمر حول الأرض، وهذه المحصلة هي بحدود 2000 كيلومتر في الساعة . لذلك تتغير مساحة الظل بحسب أوقات الكسوف فهي عادة تبدأ صغيرة ثم تكبر حتى تصل حداً أعظم تتقلص بعده بالتدريج حتى تتلاشى. إن هذا الوصف ينطبق على "الكسوف الكلي".



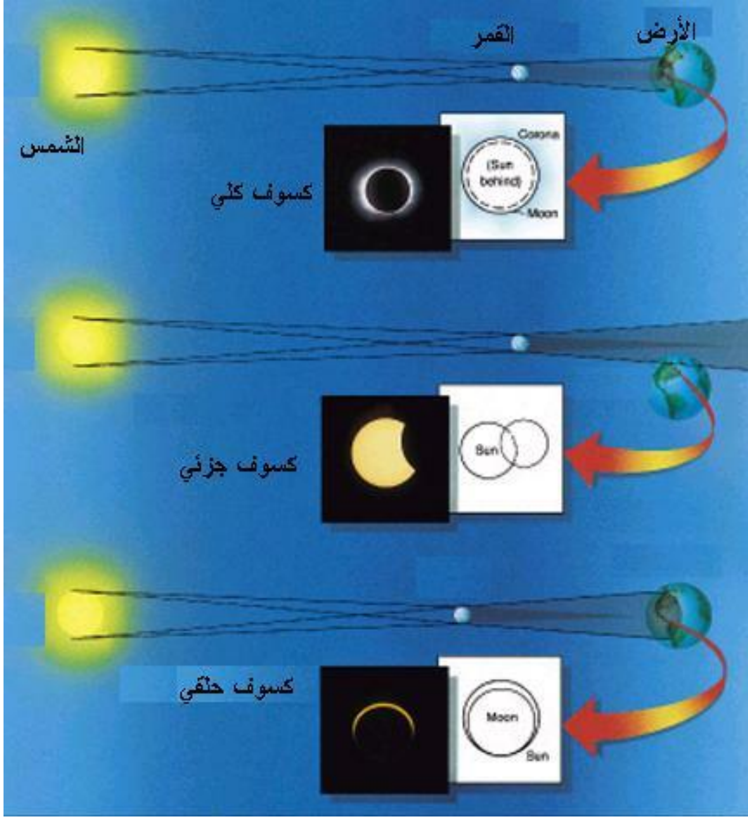
الشكل (2-21) أنطقة الكسوف الكلي والجزئي

أمّا بالنسبة لحالة الكسوف الحلقي فإنه يحصل عندما تكون مراكز الأجرام الثلاثة الشمس والقمر والأرض واقعة على خط مستقيم لكن المسافة بين الأرض والقمر هي بمقدار يجعل رأس مخروط ظل القمر لا يصل سطح الأرض لذلك يظهر احتجاب الشمس حلقياً، ويسمى ذلك كسوفاً حلقياً Annular Eclipse.

أما المناطق التي تقع في شبه الظل فإنها ترى الشمس منكسفة كسوفاً جزئياً.. وتمتد منطقة شبه الظل لمسافات كبيرة تتقلص معها نسبة الكسوف.

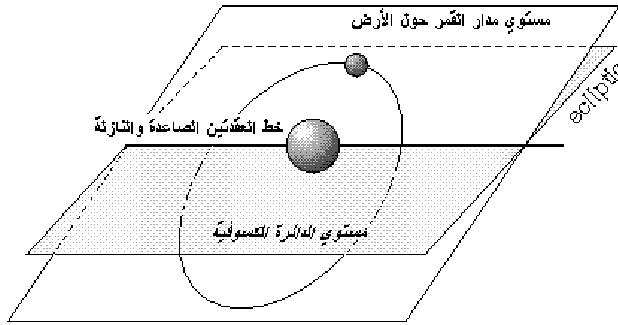
حساب الخسوف والكسوف

إن الحسابات الدقيقة لمواقيت الخسوف والكسوف ومواضع رؤية الكسوف على الأرض هي في العادة حسابات صعبة تقتضي دراية رياضية على قدر عالٍ من من المعرفة في حسابات الميكانيك السماوي Celestial Mechanics. إلا أن بإمكاننا تكوين معرفة عامة عن دورات الخسوف والكسوف وأوقات حصولهما. وهذا اللون من المعرفة هو ما كان البابليون والمصريون القدماء قد توصلوا إليه بالمراقبة المستمرة للسماء ورصد مواقع الشمس والقمر فيها.



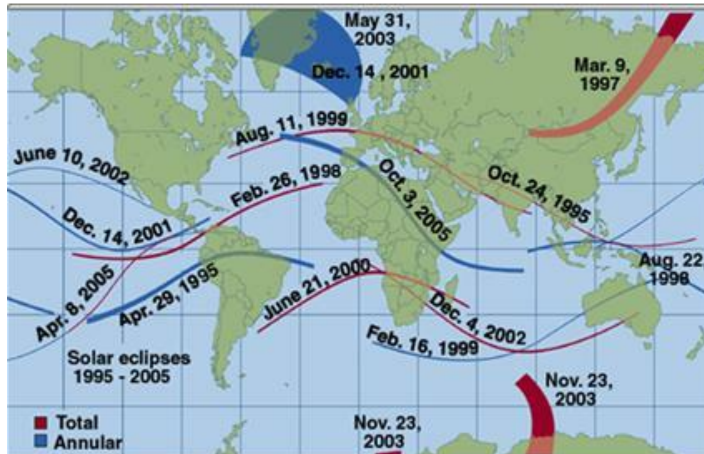
الشكل (2-22) أحوال الكسوف المختلفة

إن مواضع العقدتين الصاعدة والنازلة غير ثابتة بل تتحرك على الدائرة الكسوفية باتجاه معاكس لاتجاه حركة الشمس وبمعدل 19 درجة لكل سنة شمسية بالتقريب. مما يعني أن العقدتين تعودان إلى الموقعين نفسيهما على الدائرة الكسوفية كل 18.6 سنة شمسية. ولما كانت الشمس متحركة على الدائرة الكسوفية باتجاه معاكس بمعدل درجة واحدة في اليوم الواحد فإن هذا مؤداه أن يحصل الإقتران بين الشمس والقمر وهو في واحدة من العقدتين في مدة أمدها 365-19=346 يوماً ، وتسمى هذه الفترة السنة الكسوفية Eclipse year ، وخلالها نتوقع حصول خسوفين للقمر على الأقل. ولربما حصلت ثلاث خسوف للقمر في سنة شمسية كاملة.

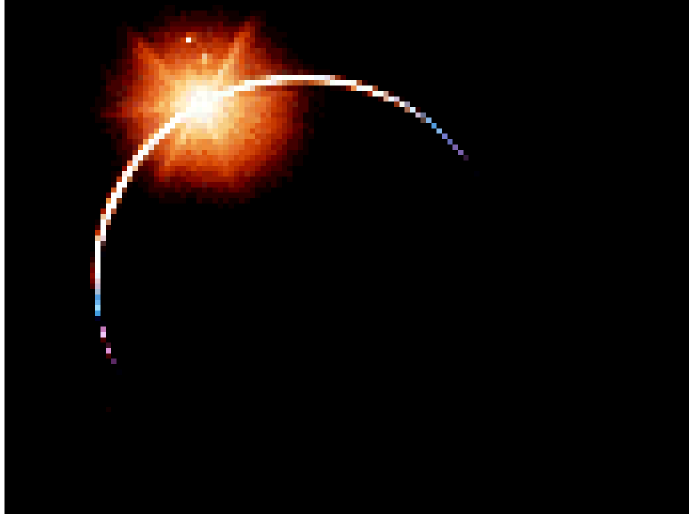


الشكل (2-23) مواضع العقدتين لتقاطع مدار القمر مع مستوي الدائرة الكسوفية

قلنا آنفاً أن ظل القمر الواقع على سطح الأرض الكروي يشكل بقعة مظلمة بيضوية تعتمد مساحتها على المسافة بين الأرض والقمر، فهذه المسافة متغيرة كما هو معلوم، وفي حده الأعظم يبلغ قطر البقعة المظلمة 270 كيلومتر. ولما كانت سرعة حركة ظل القمر على الأرض تبلغ بحدود 2100 كيلومتر في الساعة (أي 35 كيلومتر في الدقيقة) فإن المسافة البالغة 270 كيلومتر تُقطع خلال مدة 7.7 دقيقة فقط. ولهذا السبب لا تدوم فترة الكسوف الكلي أكثر من هذه المدة أبداً.



الشكل (2-24) رسم مواقع الكسوف للأعوام 1995-2005م



الشكل(2-25) يوضح صورة الحلقة الماسية التي تظهر مع الكسوف الكلي للشمس

الدورة الاقترانية للشمس والقمر : دورة الساروس: Saros Cycle

لوحظ أن جملة من كسوف الشمس تتكرر على سطح الأرض كل 18سنة شمسية و11 يوماً و ثلث اليوم. وهذا يعدل بالتقريب 19 سنة كسوفية إلا قريباً من نصف اليوم. وسمى البابليون هذا دورة الساروس . لذلك تتكرر حوادث الكسوف على خطوط العرض نفسها ولكن بفارق قدره 120 درجة على خطوط الطول. وهذا الفرق سببه فضل ثلث اليوم ففيه تدور الأرض ثلث دورة. وبذلك يمكن القول أن حوادث الكسوف تتكرر على المواضع نفسها من الأرض كل 54 سنة بالتقريب.

حساب مواقيت الخسوف والكسوف بالطريقة البابلية

كان القدماء منذ عصر البابليين الأوائل قد تمكنوا من معرفة أوقات حصول ظواهر الخسوف والكسوف بشكل تقريبي عن طريق حسابات الدور وكان هذا يعرف أيضاً باسم القرانات وقد أوردت الجداول البابلية إشارات إلى توقعات لمواقيت الخسوف والكسوف في تقاويمهم الفلكية التي كانت تصدر قبل لمدة عامين (أو أكثر أحياناً) مقدماً. لكنهم لم يكونوا يعرفوا ساعة حصول هذه الظواهر على وجه الدقة (ولا مكان حصولها بالنسبة لحوادث الكسوف). وهنا أقدم هذه الطريقة

من خلال مراقبة حوادث الخسوف والكسوف لسنوات كثيرة تنبه البابليون إلى أن هذه الحوادث تتكرر دوريا في مدى 223 شهر قمري اقتراني (مدته 29.5306 يوم)، وهذا يعادل 18 سنة شمسية و 10 أيام و7 ساعات و43 دقيقة بالضبط. وتكون الأيام 11 بدلاً من 10 إذا كانت هذه السنوات فيها 4 سنوات كبائس أما إذا كان فيها 5 سنين كبائس فتكون الأيام 10 . وقد سميت هذه الدورة لاحقا دورة الساروس، وخلالها تتكرر نفس حوادث ولكن في بقاع مختلفة من الأرض. فلو وقع كسوف أو خسوف في سنة ما فإنه يتكرر بنفس شكله ووضعه ومدته مرة ثانية بعد مضي 18 عاماً و 10 أيام و 7 ساعات و 43 دقيقة إلا أن موقع الحادث على الكرة الأرضية ينحرف نحو جهة الغرب بمقدار 116 درجة تقريباً (وهذا ما يعدل 7 ساعات و43 دقيقة بالتقريب بدوران الأرض حول نفسها). وقد عرف القدماء هذا الدور وعرفوا أنه يترتب عليه حدوث سلسلة كسوفات وخسوفات ويمكن لهواة الفلك أن يعتمدوا على دورة ساروس في حساب حوادث سماوية لأجيال عديدة لاحقة وسابقة وهي في غاية السهولة .

ولكي يتنبأ البابليون بوقوع خسوف أو كسوف في أي يوم من الأيام القادمة كان عليهم ضبط أوقات حصول كسوفات وخسوفات لدورة ساروس كاملة واحدة وجعلها كمرجع للحساب.

مثال:

وقع خسوف للقمر كلي بتاريخ 17 تشرين الأول/أكتوبر 1986 الساعة 22 و 18 دقيقة. فإذا أضفت 18 عاماً إلى 1986 فالحاصل 2004 وبينهما خمس سنوات كبائس لذلك نضيف للأيام 10 فيصير 27 أكتوبر و نضيف للساعات 7 ساعات 43 دقيقة فيصير 30 ساعة ودقيقة واحدة نحذف من الساعات 24 ونضيف يوماً. وبالتالي نكتشف أن الخسوف سيتكرر في 28 أكتوبر 2004 وكان وسطه في الساعة 6:01 وقد شاهدناه في منتصف رمضان 1425 ومثله كسوف الشمس الذي وقع بشرق آسيا بتاريخ 23 سبتمبر 1987 الساعة 06:11 صباحاً. إذا أضفنا فوقه مدة دورة ساروس فسنكتشف أن الكسوف سيتكرر بتاريخ 3 أكتوبر 2005 الساعة 13:54، أي أن هاوي الفلك إذا حصل على الخسوفات والكسوفات الماضية قبل 18 سنة فبإستطاعته حساب الحوادث لسنوات طويلة .

لكننا الآن وبفضل تقدم علوم الميكانيك السماوي وتقدم التقنيات الحاسوبية أصبحنا قادرين بحمد الله على حساب أوقات الخسوف والكسوف بدقة عالية تصل إلى أجزاء الثانية كما أمكن حساب أماكن نوع الخسوف أو الكسوف المتوقع وحساب أبعاد مسار الكسوف الكلي والجزئي بدقة عالية تصل إلى بضعة أمتار. وهذا ما يثبت عادةً في التقاويم الفلكية الحديثة Astronomical Almanac التي تصدرها هيئات عالمية. وفي الجدولين (3) و (4) كشف بحوادث الخسوف المتوقعة حتى العام 2010 .

أسئلة الفصل الثاني

1. لماذا اعتقد القدماء أن القمر أقرب إلى الأرض من الشمس؟
2. ما طور القمر عند حصول الكسوف. وما طوره في الخسوف؟
3. في نهار أي يوم من السنة تكون السرعة الزاوية للشمس الأقل وفي نهار أي يوم تكون على أعظمها؟
4. افترض أنك قمت برصد الشمس من موقع ما على خط عرض 45 شمال، كيف ستجد موقع غروب الشمس يتغير ما بين الانقلابين الصيفي والشتوي.
5. إذا قمت بقياس طول ظل عمود الكهرباء يوم 21/آذار من العام عند خط عرض 45 شمال فهل سيكون طول الظل في اليوم التالي أقصر أم أطول؟
6. يقطع القمر دائرة البروج في 27.3 يوم. ما هي سرعته الزاوية باليوم؟ بالساعة؟
7. إذا كان العصا التي طولها 10سم تصنع ظلاً طوله 35 سم فما هو ارتفاع الشمس.
8. في أي برج تكون الشمس يوم 22 حزيران من العام وفي أي برج تكون يوم 22 كانون الثاني.
9. تقطع الشمس دائرة البروج في سنة، ما هو معدل السرعة الزاوية بالشهر؟ باليوم؟ بالساعة؟ وكيف تقارنها مع معدل السرعة الزاوية للقمر؟
10. ما سبب حركة جميع الأجرام السماوية من الشرق إلى الغرب؟

11. كيف يمكنك تحديد خط الاستواء السماوي (الفلكي).

12. بين مع الأمثلة كيف تختلف مواقع النجوم باختلاف مكان الراصد لها على سطح الكرة الأرضية؟

13. بين كيف تبحث عن نجم في القبة الفلكية إذا علمت أن زاوية سمته (90°) وارتفاعه الزاوي (75°)؟

14. كيف تتكون أطوار القمر؟ هل أن ظلمة جزء من القمر في بعض أطواره ناتجة عن حجب ضوء الشمس من قبل الأرض؟

15. لماذا نرى وجهاً واحداً للقمر؟

16. في أي يوم من الشهر القمري يحصل الخسوف؟ وفي أي يوم يحصل الكسوف؟

17. ورد في المصادر أن الشمس كسفت يوم توفي إبراهيم إبن النبي (ص)، وورد في بعض المصادر أن تاريخ الوفاة كان يوم 18 ربيع الأول. فهل يصح هذا التاريخ إذا علمنا وقوع الكسوف فعلاً ؟ لماذا

18. هل يغطي الخسوف كل البقاع التي يرى منها القمر؟ لماذا؟

19. هل يغطي الكسوف كل البقاع التي ترى منها الشمس؟ لماذا؟

20. أيهما يستغرق زمناً أطول الخسوف أم الكسوف؟ لماذا؟

21. ما هي دورة الساروس؟ هل يمكن استخدامها لتقدير أوقات حصول الخسوف والكسوف؟

22. ما هي الحركة التراجعية للكواكب؟ هل تحصل مع الشمس والقمر؟ لماذا؟

الفصل الثالث

لمحة تاريخية عن تطور علم الفلك

الفلك ما قبل التأريخ

تركت لنا الشعوب القديمة تصوراتها التي تبدو لنا اليوم مضحكة أو عجيبة عن السماء وأجرامها، حيث كان التخيل البدائي قد اخترع هذه الصور. فقد تصور الهنود القدماء الأرض قوقعة عظيمة تحملها أربعة أفيال عملاقة تقف على ظهر سلحفاة. وعلى الرغم من بدائية هذا التصور إلا أنه لا يخلو من معانٍ ومعارف قيمة أهمها الشعور بكروية الأرض وتحدب سطحها وإلا لما اختار الهنود القوقعة. والثاني معرفة أن اليابسة محاطة بالماء من جميع أطرافها. ولعل أن في اختيار السلحفاة فرضاً يقصد منه تفسير قلة حصول الهزات الأرضية!!

وبالجملة فإن عقائد الإنسان القديمة تجاه الأرض والسماء وما فيها من أجرام كثيرة كانت منبعثة من تصوراته التي تتأثر تأثراً مباشراً بالأشياء المحيطة به و بخبراته اليومية ومعارفه التي تتراكم لديه على مديات الأجيال المتتابعة. لذلك نقول أن اكتشاف الإنسان للعلم والطرائق العلمية الصحيحة لاكتشاف العالم لم يكن أمراً سهلاً ومباشراً، بل مر بمراحل وتحولات كثيرة حتى اهتدى مؤخراً إلى ما يبدو أنه السبيل الصحيح الرشيد لمعرفة العالم.

أما فيما يتعلق بالأجرام السماوية فإن القدماء قد جعلوا لها صفات معنوية ومادية مختلفة. وقد كانت الكواكب والنجوم تعبد في مرحلة من مراحل تطور الوعي الإنساني. هذا ما تثبته المخلفات الموروثة من معتقدات ومن أعمال أدبية أو فنية كثيرة و أشير لذلك عن قوم سيدنا إبراهيم في سورة الأنعام حيث يذكر أن إبراهيم υ قبل أن يُكلف بالرسالة تفكّر بالنجم وبالشمس وبالقمر حتى إذا لم يجدها شيئاً ووجدها مخلوقات زائلة إهتدى إلى الإيمان بالله الذي ليس كمثله شيء، يقول الله سبحانه

[فَلَمَّا جَنَّ عَلَيْهِ اللَّيْلُ رَأى كَوْكَباً قَالَ هَذَا رَبِّي فَلَمَّا أَفَلَ قَالَ لا أُحِبُّ الآفلين. فَلَمَّا رَأى الْقَمَرَ بَازِغاً قَالَ هَذَا رَبِّي فَلَمَّا أَفَلَ قَالَ لَئِنْ لَمْ يَهْدِنِي رَبِّي لأكونن مِنَ الْقَوْمِ الضَّالِّين. فَلَمَّا

رَأى الشَّمْسَ بَازِغَةً قَالَ هَذَا رَبِّي هَذَا أَكْبَرُ فَلَمَّا أَفَلَتْ قَالَ يَا قَوْمِ إِنِّي بَرِيءٌ مِمَّا تُشْرِكُونَ].



الفلك عند العراقيين القدماء

شكل (3-1) الزقورة التي استخدمها العراقيون القدماء لرصد السماء

لقد كشفت التنقيبات الآثارية وتراجم الألواح الطينية البابلية عن تراث ضخم في مجال الأرصاد الفلكية الدقيقة، واتضح بما لا يقبل الشك أن البابليين وخاصة على العصر السلوقي المتأخر (310 ق.م – 75م) Seleucid era قد اعتنوا بعلم الفلك عناية فائقة وكانت لديهم مؤسسة حكومية ضخمة ممولة من قبل الدولة تعمل على تسجيل الأرصاد الفلكية لمواقع الكواكب والشمس والقمر والنجوم وباقي الأجرام السماوية التي تراها العين يومياً. وكان اللوح الطيني يحتوي على معلومات تتضمن تاريخ ومكان الرصد واسم الراصد واسم مساعده، واسم الكاتب الذي يدّون المعلومات على اللوح الطيني الأولي واسم الناسخ الذي ينقل المعلومات من اللوح الأولي إلى اللوح النهائي واسم المدقق الذي يتولى تدقيق النسخ والتأكد من صحته.

وقد ترجم لنا جزءاً كبيراً من هذا التراث العلمي الذي حفظته تلك الألواح مؤرخ علم الفلك القديم الأستاذ أوتو نويجي باور Otto Neugobauer في ثلاث مجلدات كبيرة بعنوان Astronomical Cuneiform Texts كما أرخ هذا العالم الجليل لأعمال البابليين وغيرهم في علم الفلك في كتبه الأخرى وأهمها A History of Ancient Mathematical Astronomy الذي يقع في ثلاث مجلدات أخرى.



الشكل (3-2) تقويم فلكي بابلي

وقد كان من مهام المؤسسة الفلكية البابلية إصدار التقاويم الفلكية لسنتين أو أكثر مقدماً، والتي تحتوي عادة على إحداثيات الشمس والقمر والكواكب السيارة، وبدايات الأشهر القمرية وخسوف القمر وكسوف الشمس المتوقعة خلال الفترة التي يغطيها التقويم، وهذا هو في الحقيقة ما تحتويه التقاويم الفلكية المعاصرة وأهمها التقويم الفلكي البريطاني – الأمريكي المشترك والمسمى "**المناخ Almanac**" .

ومن الجدير بالملاحظة أن التنظيم المتبع في التقويم الفلكي العالمي الآن هو نفسه الذي كان متبعاً عند البابليين، إذ أنهم جعلوا جزءاً من التقويم يتضمن جداول تعين إحداثيات الأجرام السماوية وتسمى **الجداول الأرصادية Observational tables** يلحق به جزء آخر يكون على ألواح أخرى ويسمى **النص الإجرائي procedure text** وهو الجزء الذي يتم فيه شرح العمليات الحسابية المعتمدة لاستخراج الأرقام التي تتضمنها الجداول الأرصادية.

كانت التقاويم الفلكية البابلية تؤدي وظيفتين في آن واحد:

الأولى هي وظيفة عملية تختص بتحديد أحوال الجو والفصول ومواسم الزراعة والأمطار وتحديد المواقيت والأعياد الوطنية والدينية وجباية الأموال وصرف الرواتب إلى الجند وموظفي الدولة و الأحوال الشخصية وغير ذلك من الفعاليات التي تتأثر بالمواقيت.

أمّا الوظيفة **الثانية** التقاويم الفلكية البابلية فقد كانت استخدامها في التنجيم للتنبؤ بمصائر وأحوال الرعاة (الملوك) والرعية. وتقول المصادر أن الكلدان كانوا بارعين في التنجيم براعة نادرة حتى أنهم كانوا يعرفون أحوال المولود في بطن أمه بدلالة النجوم[1].

وقد برع البابليون في التعامل مع الأعداد وكانت نظرية العدد عندهم متطورة على ما يظهر من خلال الدراسات المعاصرة التي جرت على النصوص الرياضية، وأنواع التمارين المعطاة للطلبة والتي تؤكد اعتمادهم خوارزميات محددة لحل المسائل العددية، وهذا ما تشير إليه الدراسات الجديدة بشأن علم الرياضيات البابلي.

لقد اعتمد البابليون النظام الستيني في تمثيل الأعداد ولهذا النظام فائدة كبيرة في التعبير عن الكميات الهندسية نظراً لأنه يتوافق معها تماماً إذ أن الدائرة تقسم إلى 360 درجة والدرجة إلى 60 دقيقة والدقيقة إلى 60 ثانية وهكذا. والرقم 60 يقبل القسمة على 1 و 2 و 3 و4 و 5 و 6 و 10 و 12 و 15 و 20 و 30 وعلى نفسه بدون باقي بينما لا تقبل العشرة التي هي أساس النظام العشري القسمة إلا على 2 و 5 ونفسها فقط. لذلك فقد أتاح النظام الستيني مرونة أعلى للبابليين للتعامل مع الأرقام الناتجة عن الأرصاد الفلكية والحسابات الفلكية.

لقد حدد البابليون فترة الشهر القمري الاقتراني والشهر القمري النجومي، بدقة كبيرة تتفق مع التحديد المعاصر حتى المرتبة السادسة وهذه هي 29.530594 يوم والفترة المقبولة حالياً هي 29.530590 يوم. كما عرفوا السنة الشمسية ومدتها بوجوه عديدة، والسنة الفصلية ومدتها والسنة الإقترانية ومدتها والسنة النجومية ومدتها، ورغم ما تذكره

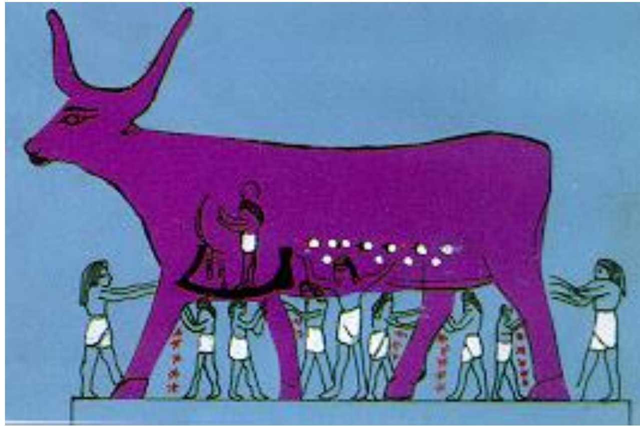
---

(1) أنظر رسائل إخوان الصفا ج4.

المصادر من أن البابليين لم تكن لديهم نظرية كوكبية Planetary Theory رياضية بحسب الرأي الذي طرحه نويجي باور وآخرين إلا أن وجود هذا الكم الهائل من الأرقام والحسابات الأرصادية لهو دليل واضح على أن البابليين كانوا ولابد أصحاب نظرية كوكبية متقدمة قد يمكن الاستدلال على معالمها من خلال دراسة أكثر عمقاً ومتابعة لعلم الفلك الرياضي البابلي فضلاً عن هذا فإن وجود جداول بابلية تحتوي على مدة دوران الكواكب (عدا الأرض) حول الشمس قضية محيرة حقاً! فهل كان لدى البابليين نظرية حساب قائمة على مركزية الشمس أيضاً؟.

الفلك عند المصريين القدماء

وجد الباحثون في المصريات القديمة آثاراً لرسومات دالة على تصورات المصريين القدماء للسماء وما تحويه ففي أحد الرسومات يشبّه المصريون السماء المعطاءة ببقرة عظيمة حلّيت بطنها بالنجوم ويقف تحتها الإله " شو" (إله الفضاء) يرفعها بذراعيه (أنظر الشكل 3-3).



شكل (3-3) صورة السماء عند المصريين تمثلها بقرة عظيمة



شكل (3-4) الإله شو يرفع السماء

أما فيما يخص معرفة المصريين القدماء بالنجوم وحركاتها فإن من المؤكد أنهم استطاعوا تمييز الكوكبات النجمية التي جعلوها ستاً وثلاثين كوكبة، لكل منها حارس يحرسها ويهيمن على عشرة أيام من أيام السنة المصرية التي قرروها 360 يوماً. لذلك صاروا يضيفون الأيام الخمسة إلى عداد أيام السنة ويجعلونها عيداً.

وقد مكنت مراقبة الكوكبات من وضع جداول تبين مواعيد ظهورها وتحديد مواقعها على مدار الزمن. وقد ربط المصريون بين مولد فيضانات النيل وشروق نجم الشعرى وذلك في 19 تموز (يوليو) من كل عام، وقد اتخذوا من موقع الشعرى اليمانية دليلاً لهم في بناء الهرم وتوجيهه. فالشعرى اليمانية التي تظهر في الجنوب يواجهها أحد وجوه الهرم الأكبر (هرم خوفو)، بينا جُعل الوجه الآخر للهرم يواجه نجم القطب بحيث إذا سقط الضوء القادم من نجم الشعرى على وجه الهرم التقت الأشعة القادمة منه مع الأشعة القادمة من نجم القطب (من الشمال) في الحجرة الملكية الموجودة داخل الهرم. وحين يلتقي الشعاعين يبدأ فيضان النيل في ذلك الأسبوع.

أما بالنسبة لقياس الزمن فقد استخدم المصريون القدماء المزاول الشمسية. كما استخدموا الساعات المائية وهي عبارة عن أحواض مثقبة يتسرب الماء منها إلى الخارج ويعرف منها ما مضى من ساعات الليل بقياس مستوى الماء الخارج. وقد عثر الإثاريون

على جداول فلكية في قبور الملوك يظهر فيها وقت عبور بعض النجوم لخط الزوال. وعموماً لم تكن إنجازات المصريين القدماء في علم الفلك بالقدر الذي اجتهد به البابليون، والذي يُعزى ربما إلى عدم شيوع التعامل بالتنجيم عند المصريين القدماء، فقد كانوا هم أكثر اهتماماً بالسحر والكيمياء وقد تفوقوا في هذا المضمار. على عكس ما كان عليه الحال عند البابليين وما كان من معرفتهم الواسعة بالتنجيم. فإن التنجيم كان عاملاً رئيساً في تطوير الأرصاد الفلكية، وأدواتها كما هو مثبت في تاريخ هذا العلم. ومما يؤكد اهتمام المصريين بالسحر وتفوقهم فيه أن الله سبحانه وتعالى بعث موسى وأخاه هارون عليما السلام مؤيدين منه بقوة إلهية تغلبت على ما كان لدى سحرة الفرعون. **وَأَلْقِ مَا فِي يَمِينِكَ تَلْقَفْ مَا صَنَعُوا إِنَّمَا صَنَعُوا كَيْدُ سَاحِرٍ وَلا يُفْلِحُ السَّاحِرُ حَيْثُ أَتَى** (طه:69)

الفلك في الصين والهند القديمة

تكاد المصادر العلمية تجمع على أن الفلك في بلاد الهند والسند هو وليد فتوح الاسكندر المقدوني وما نقله إليهم من معلومات فلكية ذات أصول يونانية وبابلية. فلم يكن للهنود في الأزمنة المبكرة خبرة تُذكر في مجال علم الفلك إذ أن كل معلوماتهم كانت محصورة في أدوار الشمس والقمر والمشتري والتي كانت تلزمهم لأغراض التوقيت الزمني. ولقد وجد أن هنالك عدد كبير من المصطلحات المستخدمة في الهندسة والفلك والتنجيم ذات أصول إغريقية، انتقلت إلى اللغة السنسكريتية.

وقد عرف الهنود كروية الأرض وكونها قائمة في الفضاء دون استناد إلى شيء. لكنهم أيضاً كانوا يقولون بأن الهواء يدفع الكواكب للحركة. ويُذكر أن الهنود عرفوا حركة الترنح في محور دوران الأرض حول نفسها وهذا ما يسمى **مبادرة الاعتدالين**. إذ وجدوا أن مقدار الترنح يعدل 1.5 درجة في القرن الواحد، وهذه النتيجة قريبة من تلك التي وجدها بطليموس. وقد كان للهند في القرن الثامن الميلادي علم فلك

متطور كما يظهر من القصص المروية عن زيارات الفلكيين الهنود لدواوين الخلفاء العباسيين وخاصة زيارة سيدهانا Sindhanta الشهيرة إلى ديوان المأمون وما أمر به الخليفة العباسي من ترجمة كتاب السندهند الكبير الذي إعتبره الفلكيون العرب المسلمون (إلى جانب كتاب بطليموس المجسطي) أساساً رئيساً لعلم الفلك العربي الإسلامي. لكن من الجدير بالذكر أن الهند استثمروا المعلومات الفلكية في التنجيم فقد برعوا فيه وأبدعوا أيما إبداع ويذكر أبو الريحان البيروني في كتابه (التفهيم لأوائل صناعة التنجيم) وفي كتبه الأخرى الكثير من المعلومات عن أعمال الهند بهذا الصدد.

أما في الصين فقد كان علم الفلك متطوراً على ما يبدو أكثر كثيراً مما كان للهند.. وربما يُعزى ذلك إلى علاقة الفلك بالدين لدى الصين، فقد كانت مراصدهم معابد مقدسة وكانت الأدوات والأجهزة الفلكية أدوات طقوس دينية امتازت بجمال فائق ودقة صنع راقية وقد تميزوا بذلك فضلاً عن تميزهم بتوثيق الحوادث الفلكية.

وقد ارتبط الفلك عند الصين بالتنجيم. وكان كونفوشيوس (نبي الصين) الذي عاش للفترة (551-479ق.م) قد وضع كتاباً في التنجيم بعنوان (المتغيرات) وهو يحوى على أسرار ومعلومات فلكية فضلاً عن المعلومات التنجيمية وطرق الكشف عن المستقبل. وأهم ما يسجل للصين توثيقهم الأحداث الفلكية وتسجيل مشاهداتهم بصورة منتظمة.

ويُذكر أن الصين اكتشفوا مبكراً مجموعة أقمار المشتري قبل ألفي سنة من اكتشاف غاليلو لها عام 1610م. كما يذكرون أنهم اكتشفوا البقع الشمسية حيث ورد ذكرها في حوليات أسرة هان (206ق.م-1900م). كما يُذكر أن الصين اهتموا بتوثيق حوادث الخسوف والكسوف حيث إنهم سجلوا خلال الفترة (11 ق.م-1900م) ما يزيد على 1600 كسوف و 1100 خسوف و200 حالة

احتجاب الكواكب خلف القمر. ولعل من أهم توثيقاتهم الفلكية تسجيلهم لحادث ظهور المستعر الأعظم في برج الثور عام 1054م. كما أنهم سجلوا انفجارات نجمية مماثلة في السنوات 1006م و 1572م و 1604م على التوالي. ومن التسجيلات الشهيرة توثيقهم لدورات مذنب هالي حيث ذكرت تلك الوثائق مرور المذنب في سماء الأرض 29 مرة منذ عام 240 ق.م إلى 1910م. وهذا يعني أنهم لم يضيعوا فرصة واحدة لمشاهدة المذنب طوال تلك الفترة!

أما بالنسبة للتقاويم فقد توصل الفلكيون الصينيون إلى وضع تقويم رسمي للأمبراطورية الصينية وكان على درجة عالية من الدقة فقد حسبوا أن طول السنة هو 365.25 يوماً بالضبط، ثم وجدوا أن طول السنة هو 365.2425 يوماً ولذلك قاموا بإصلاح التقويم وذلك قبل الإصلاح الغريغوي بمدة 383 سنة. وفي عام 1608 حددوا طول السنة الشمسية بمدة 365.242190 يوماً.

وقد استخدم الصينيون القدماء الساعات المائية لمعرفة الوقت ليلاً. أما في النهار فقد استخدموا المزاول الشمسية. كما وضعوا خرائط دقيقة لنجوم السماء منها (خارطة شوتسو) للنجوم وهي منحوتة على الحجر عام 1247م، وتصوّر هذه الخارطة مواقع 1434 نجماً بدرجة عالية من الدقة كما تبين حدود المجرة. أما بالنسبة إلى المراصد الفلكية الصينية فإن أقدمها هو منصة قوبيا التي بنيت عام 1279م. وقد استخدم الصينيون آلة ذات الحلق الضخمة لتحديد احداثيات الأجرام السماوية ومما يذكر ان الصين لا زالت تحتفظ بمرصدها الرئيسي (مرصد بكين) الذي عمل لمدة 2000 سنة مع كثير من أجهزته.

الفلك عند اليونان والرومان

اهتم الإغريق منذ القرن السادس قبل الميلاد بالفلك واعتبروه علماً نظرياً بعيداً عن التجربة بل يعتمد على النظم الهندسية وحساب المثلثات السطحية والكروية. وقد أفاد الإغريق من علوم البابليين وعلوم المصريين في الفلك

والرياضيات كثيراً وإن لم يذكروها ولم يكونوا أمناء قي نقلها بل إنتحلوا كثيراً منها. لكنهم دون شك أضافوا الى هذه العلوم الكثير وكانوا حلقة جديدة في تطور المعرفة العلمية فوضعوا نظرية مركزية الأرض وفسروا بذلك الحركة اليومية للأجرام السماوية كالشمس والقمر والكواكب السيارة. كما قاموا بحساب محيط الأرض. ومن الجدير بالذكر هنا أن أغلب التراث اليوناني هو عبارة عن قصاصات أو أخبار مجتزئة وردت في الكتب.

ومن أوائل الفلاسفة الإغريق الذين اهتموا بالفلك الفيلسوف اليوناني طاليس Thales الذي عاش بين (640-562) ق.م، والذي يعتبر من القدماء السبعة ومؤسسي علم الطبيعة، وقد نبغ طاليس في علوم متعددة منها الفلك وحركة النجوم والتنبؤ بكسوف الشمس.

في القرن السادس قبل الميلاد ظهر المدرسة الفيثاغورية التي أسسها الفيلسوف الرياضياتي فيثاغورس Pythagoras والذي ولد في جنوب إيطاليا عام 580 ق.م وتوفي عام 500 ق.م، وكان هذا الرجل كثير الأسفار تعلّم في بابل ومصر واطلع على التراث العلمي للحضارتين البابلية والمصرية. وقد وضع فيثاغورس نظرية دقيقة تربط بين الأعداد والحركات الطبيعية وله مساهمات كثيرة في التنجيم وأحكام النجوم. كما بيّن فيثاغورس أن القمر جسم صلب يشبه الأرض، وإليه تنسب نظرية المثلث القائم الزاوية لكنها بابلية الأصل كما ثبت ذلك مؤخراً.

أمّا بارمنيدس Parmenides، وهو مؤسس المدرسة الإيلية، فقد افترض أن الأرض كروية وأن الكون مرتب على شكل طبقات متحدة المركز حول الأرض.

ومن علماء الفلك النظريين الإغريق المشهورين الفيلسوف أفلاطون Plato (425-317 ق.م) الذي افترض أن السماء كرة مادية على شكل جرس من الكريستال ملقى على الأرض المسطحة، وقال بكروية الأرض وقد وصف أفلاطون حركة الأجرام السماوية وصفاً دقيقاً.

نظرية أرسطو الفلكية

الفيلسوف الشهير أرسطو طاليس (384-322 ق.م) هو أشهر العلماء والفلاسفة الاغريق وله آراء كثيرة في الفلك ويمكن القول أن آراء أرسطو جاءت تجميعاً وتلخيصا للنظرة السائدة على عصره إلى السماء. وسوف نركز هنا على أرسطو دون أن يعني ذلك بالضرورة أنه الوحيد الذي مثل الفلك اليوناني ودون أن يعني ذلك أن هذه الأفكار هي خالصة له. فقد تقبل أرسطو نظرية مركزية الأرض وقال بكرويتها، وأورد أدلة كثيرة على ذلك.

قامت نظرية أرسطو في مسائل الفلك ورؤيته للسماء على ثلاثة مباديء أو مسلمات هي:



الشكل (3-5) نظرية أرسطو في توزيع الكواكب على كرات

1. مركزية الأرض: أي اعتبار الأرض مركزاً للعالم كله تدور حولها جميع الأجرام السماوية.
2. أن جميع الحركات السماوية هي حركات دائرية كاملة ومنتظمة.

3. أن الأجرام السماوية هي من طبيعة خاصة مختلفة عن طبيعة ما على الأرض (تحت فلك القمر على وجه الدقة) وهي سرمدية لا تتعرض للتغير أو الفساد.

لقد رسّخ أرسطو النظرية الكوكبية البدائية المعتمدة على مبدأ مركزية الأرض فقال بأن الأرض تقع في مركز العالم فيما تكون الشمس والقمر والكواكب الخمسة المعروفة على عهده (وهي عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل) متحيزة في كرات أثيرية شفافة متمركزة بعضها فوق البعض الآخر. وقد قام بترتيب الكواكب على أبعادها عن الشمس بحسب مدد دوراتها الظاهرية في دائرة البروج. فالقمر هو أقرب الأجرام إلى الأرض لأنه الأسرع فيما جاء زحل أبعدها لأنه الأبطأ، (أنظر الجدول 2-3). وقد احتاج أرسطو إلى وجود الكرات لتثبيت الأجرام السماوية فيها ومنعها من السقوط نحو الأرض، فضلاً عن تبرير دورانها الظاهري حول الأرض، ولهذا الغرض إحتاج أرسطو إلى 55 كرة أثيرية. كما وجد ضرورة أن تكون هذه الكرات شفافة لتفسير رؤية الأجرام متفرقة أو مجتمعة في قبة السماء. ولقد أضاف أرسطو إلى نموذجه هذا كرة ثامنة هي كرة النجوم الثابتة. وتصور أرسطو لهذه الكرات محركاً هو الفلك المحيط الذي يديرها جميعاً.

معضلة الحركة التراجعية وتغير السطوع

استطاعت النظرية الأرسطية تفسير الحركة الظاهرية للشمس والقمر والحركة اليومية لنجوم القبة السماوية والحركة المستقيمة للكواكب السيارة. لكنها لم تستطع تفسير الحركة التراجعية للكواكب التي شرحناها في الفصل الثاني. كما أن نظرية أرسطو لم تتمكن من تفسير التغير الواضح في سطوع الكواكب خلال دورانها في البروج. فقد كان هذا التغير غير مبررا بضوء التصور الإرسطي الذي كان قائما على الأفلاك الدائرية التامة.

وكان من أبرز علماء الفلك المميزين عند اليونان

أرستارخوس (310–230 ق.م)

ولعله أول من قال بدوران الأرض حول الشمس واعتبرها مركز الكون. وكثيرا ما يرد هذا في كتب الفلك لكن الحقيقة أن من ذكر ذلك عن أرستارخوس هو بطليموس ولا يوجد دليل موثق على أن أرستارخوس نفسه قال بذلك. لكنه افترض أيضاً أن الكواكب السيارة تدور حول الأرض، لكن أفكاره هذه ضاعت في خضم هيمنة أفكار أرسطو وفلسفته.

هيبارخوس (190–120 ق.م)

ولعل أشهر علماء الفلك الإغريق الذين ظهروا بعد أرسطو الرياضياتي والراصد الفلكي الفذ أرستارخوس، الذي قيل أنه اكتشف ترنح محور دوران الأرض من خلال ملاحظته حركة دائرة البروج لكن هذا ليس صحيحاً تماماً لأن البابليين كانوا قد عرفوا هذه الظاهرة قبله وحسبوا مقدار الترنح الزاوي كما سجلوا ذلك على الألواح الطينية. إلا أن هيبارخوس ربما صحح قياس البابليين وحسّنه.

نظرية بطلميوس في أفلاك التدوير

وقد بلغ علم الفلك عند الإغريق أوجه وقمة تطوره على يد الفلكي والرياضياتي الشهير كلاوديوس بطلميوس القلوذي الاسكندراني (85-165م). وهو عالم مصري من أصل يوناني ولد في صعيد مصر نهاية القرن الأول الميلادي. لقد تمكن هذا العالم من أن يرقى بعلم الفلك إلى مستوى جديد من خلال نظرياته الفلكية الهندسية التي استطاع التحقق من الكثير من معطياتها من خلال الرصد. فقد ألّف بطلميوس العديد من الدراسات عن تشكيلات النجوم الثابتة ووضع جداول بموقعها. ودرس علوم البابليين وأرصادهم التي حصل عليها واستخدم الأدوات الفلكية كالإسطرلاب لقياس ارتفاع النجوم والكواكب وتحديد مساراتها، ولعل أشهر كتبه هو كتاب **المجسطي** Almagest أو الأعظم الذي اشتمل على كافة

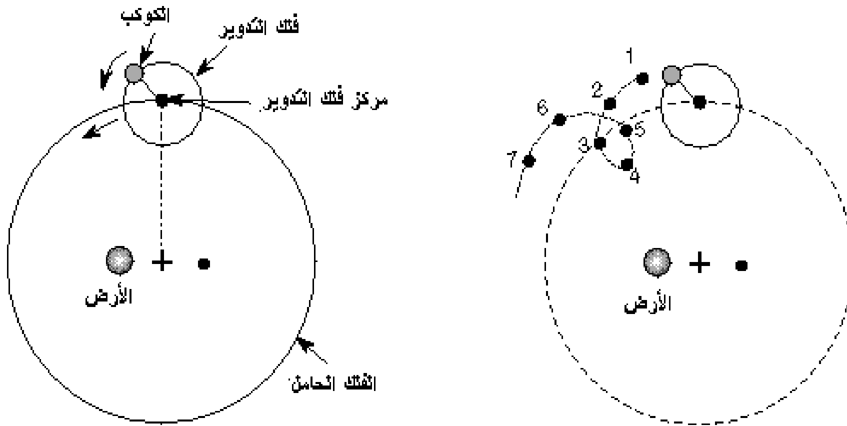
المواضيع الهندسية والفلكية. وقد تُرجم كتابه هذا إلى العربية واعتمده الفلكيون العرب المسلمين.

لما وجد بطليموس أن نظرية أرسطو في الكرات السماوية لا تتفق مع تفاصيل الأرصاد الفلكية وبخاصة الحركة التراجعية للكواكب وضع نموذجاً معدلاً يعتمد مركزية الأرض للعالم كأساس. وقد احتوى هذا النموذج على ثلاثة مفاهيم أساسية ربما كان اثنان منها قديماً والآخر جديد اخترعه بطليموس على ما يبدو. وهذه المفاهيم الثلاثة هي:

فلك التدوير: Epicycle وهو فلك دائري الشكل يدور فيه الكوكب.

الفلك الحامل: Deferent وهو فلك يحمل فلك التدوير (بما فيه الكوكب) يدور حول الأرض في مسار لا يشترط أن يكون بسرعة ثابتة.

التعديل: Equant وهو نقطة مناظرة للنقطة اللامركزية التي تقع فيها الأرض (أنظر الشكل 1-21) ومنها تكون سرعة الكوكب ثابتة على مساره طالما كان في الاستقامة.



الشكل (6-3) نظرية مركزية الأرض بحسب بطلميوس

وهكذا صارت الكواكب هذه المرة محمولة على أفلاك خاصة بها سميت **أفلاك التدوير** وكلٌ من هذه الأخيرة محمول على فلك آخر سمي **الفلك الحامل** كما في الشكل (3-6) .

وبموجب نظرية بطلميوس أصبح تفسير الحركة التراجعية للكواكب ممكناً باعتبار أن الكواكب في حركتها على أفلاك التدوير تبدو في حركتها المستقيمة عندما يكون اتجاه حركتها متوافقاً مع اتجاه حركة الفلك الحامل حتى إذا صارت إلى موضع على الفلك الحامل عند نقطة انعكاس اتجاه دورانها صارت في الثبات ثم تبدأ حركتها في التراجع عندما يكون اتجاه سيرها في فلك التدوير معاكساً لاتجاه حركة الفلك الحامل حتى إذا صارت إلى موضع تنعكس فيه اتجاه حركتها مرة ثانية صارت في الثبات للاستقامة، ثم تستقيم، وهكذا دواليك. ومن الواضح أن حركة الشمس والقمر تكون على فلك واحد فلا حاجة بها إلى أفلاك تدوير لعدم وجود حركة تراجعية لها.

ولكي يفسر بطلميوس حركة كوكبي عطارد والزهرة اشترط أن يكون مركز فلك التدوير لكل منهما يمتد على استقامة واحدة بين الأرض و الشمس على الدوام وبذلك استطاع أن يفسر وجود هذين الكوكبين معظم الأوقات قريبين من الشمس.

وقد ضمن بطلميوس كتابه **المجسطي** Almajest هذه النظرية وغيرها من المسائل الفلكية. ويحتوي كتاب المجسطي على 13 مقالة تبحث في المسائل الأساسية لعلم الفلك على عصره اختصر فيها علوم من سبقوه وأضاف إليها ما وجده هو. وقد قام بطليموس بحساب أبعاد الشمس والقمر والكواكب بحسب فترات دورانها في دائرة البروج، وكما ذكرنا الأقرب هو الأسرع، وذلك هو القمر يليه عطارد فالزهرة والشمس ثم المريخ والمشتري وأخيراً زحل. وقد استنتج بطليموس من هذا الحساب أن بعد القمر بدلالة نصف قطر الأرض هو 59 مرة أما كرة النجوم الثوابت فقد قدر بعدها 20000 مرة قدر قطر الأرض. ونحن اليوم نعلم أن فترات دوران الشمس والقمر والكواكب في دائرة البروج صحيحة لأنها حقائق رصدية أما

أبعاد هذه الأجرام بحساب فهي اليوم خاطئة بالطبع لأن نظرية بطليموس خاطئة تماماً.

الفلك عند العرب والمسلمين

إذا كان اليونان والرومان هم ورثة علوم البابليين والمصريين ومطوروها فإن العرب المسلمين أصبحوا دون شك ورثة علوم اليونان والهند. والفارق بين الحالين، كما يبدو ذلك واضحاً من خلال التاريخ المسجل، أن اليونان كانوا كثيراً ما ينتحلون أعمال غيرهم وينسبونها لأنفسهم على حين أن هذه الظاهرة لم تكن شائعة عند العرب المسلمين بل لقد حفظ المسلمون لليونان ولغيرهم من الأمم حقوقهم التاريخية في الملكية الفكرية للأعمال الجليلة، بل لقد اعتبروهم أساتذة لهم ومعلمين، وتشهد على هذا القول أعمال إبن سينا والفارابي وإبن رشد وغيرهم ممن نقلوا عن اليونان وشرحوا لأعمالهم. فكثير من أعمال اليونان لم تُعرف للأوربيين أنفسهم إلا من خلال النص العربي الذي حفظه العرب وحفظوا إسم صاحبه بكل أمانة، بينما لم تحفظ لنا كتب اليونان إلا أشياء يسيرة جداً من إنجازات البابليين والمصريين القدماء وبدلاً عن ذلك نسبوها لأنفسهم وما عرفناه مؤخراً عن أعمال البابليين والمصريين القدماء كشفته التنقيبات الآثارية.

عاش قدماء العرب في شبه جزيرة العرب، وكانت طبيعة الحياة في بيئتهم تتطلب الارتحال الدائم طلباً للماء والكلأ فضلاً عن رحلاتهم التجارية من الجزيرة إلى الشام وإلى اليمن، ونظراً لشدة الحر في صحاريهم فقد كانت معظم تنقلاتهم تتم ليلاً. لذلك كانوا في حاجة لمعرفة النجوم الثابتة ومواقعها ليهتدوا بها في مسيرهم وكان من الضروري عندهم تمييز النجوم الثوابت عن الكواكب السيارة المتحركة حركات ذاتية لكي تكون الثوابت مثابات سماوية تهديهم السبيل.

كما كان العرب بحاجة إلى معرفة الفلك لعلاقته بالأنواء (الأحوال الجوية) الفصلية، من أمطار ورياح وبرد وحر، وهي ضرورية لحياتهم أيضاً، ويمكن القول أن معظم المعارف الفلكية لعرب الجزيرة هي ما اكتسبوه من تراث البابليين وما انتقل إليهم من معارف اليونان والروم والفرس والهند، وربما لم يضف عرب الجزيرة قبل الإسلام شيئاً

كثيراً إلى هذه المعارف بل هم قد حرصوا على توثيقها سجعاً وشعراً لتتناقلها الألسن جيلاً بعد جيل.

الفلك عند العرب بعد الإسلام

لم يكن للعرب المسلمين في العقود الأولى من عهد الإسلام متسع للبحث والدراسة خاصة وأنهم كانوا مشغولين بالجهاد والفتح، إلا أن قيام الدولة الأموية في الشام واستقرار الأمور أتاح فرصة للانفتاح على حضارة الرومان فضلاً عن ما أوجدته فتوح المشرق لخراسان والهند والصين من نوافذ جديدة على حضارات أخرى. ويُذكر أن خالد بن يزيد بن معاوية بن أبي سفيان (المتوفى سنة 85هـ/704م) كان شغوفاً بالعلم والمعرفة، ويقال أنه رفض تولي الخلافة بعد أبيه لانشغاله بالعلم. وربما كانت على عهده أول الترجمات العربية لكتب اليونان حيث تذكر المصادر أنه أمر بترجمة عدد من الكتب الفلكية والطبية وكان شغوفاً بالكيمياء فترجمت له أعمال في الكيمياء.

إلا أن النهضة العلمية الحقيقية بدأت في العصر العباسي ومن المؤكد أن أبو جعفر المنصور كان مهتماً بعلوم الفلك لشغفه بصناعة التنجيم، إذ عُرف عنه تقريب المنجمين واستشارتهم في كثير من الأمور وكان لديه عدد من المنجمين منهم نوبخت الفارسي وماشاء الله اليهودي وإبراهيم بن حبيب الفزاري وعمر بن فرخان الطبري، ويذكر البيروني في كتاب (الآثار الباقية عن القرون الخالية) أن أبا جعفر المنصور أمر هؤلاء المنجمين باختيار طالع حسن للشروع في بناء مدينة بغداد. فوضع هؤلاء خارطة تنجيمية (أو ما يسمى النصبة الفلكية) واقترحوا بدء العمل يوم 15 ربيع الثاني سنة 145هـ. كما أمر المنصور أبو يحيى البطريق بترجمة كتاب "**المقالات الأربع**" لبطليموس وهي في أحكام النجوم، وفي الوقت نفسه فإن المنصور أمر بترجمة الكتاب المعروف "**السند هند**" وهو كتاب العالم الرياضياتي الهندي **برهمكيت** الذي كتبه للملك فياكهرمكة عام 7هـ/628م. وكان لهذا الكتاب أثر كبير في تطور المعارف العربية في الفلك وحركات الكواكب والنجوم وقياس هذه الحركات وحسابها.

ويذكر أن محمد بن إبراهيم الفزاري ألّف عدة كتب في الفلك منها كتاب "**العقيدة**" في علوم النجوم" وكتاب "**المقياس للزوال**" وكتاب "**الزيج على سني العرب**" وكتباً أخرى حول الإسطرلاب. كما **قام يعقوب بن طارق** المتوفى عام 179هـ/796م بتصميم عدة جداول فلكية، ويقال أنه استفاد كثيراً من معلومات الحكماء الهنود، فترجم كتاب "**الأركند**" وكتاب "**تركيب الأفلاك**" والأركند هو زيج (أي تقويم فلكي يتضمن جداول كثيرة تشتمل على بيان حركات الشمس والقمر والكواكب السيارة يومياً). وقد كان الحسّابون الذين يعملون في ضبط التقاويم والمنجمون والفلكيون على السواء بحاجة إلى هذه الأزياج الفلكية.

ومن الازياج التي أُلفت على مذهب السند هند " **زيج السند هند الكبير**" لابراهيم الفزاري، كما قام الخوارزمي في بداية القرن الثالث الهجري بوضع "**زيج السند هند الصغير**" حيث اعتمد فيه أوساط السند هند، وخالفه في التعاديل والميول، فجعل تعاديله على مذهب الفرس وميل الشمس على مذهب بطليموس، وبقي زيج الخوارزمي مستعملاً لقرون عديدة. أخذت دراسات علم الفلك الاتجاه الصحيح على عهد المأمون بن هارون الرشيد (ت 218هـ/833م) حيث دعم هذا الخليفة العلم وأمد العلماء بالمال اللازم لإجراء دراساتهم وأبحاثهم كما شجع ترجمة الكتب من اللغات السريانية واليونانية والفارسية والهندية، وكان مولعاً بعلم الفلك وأمر ببناء المرصد المأموني شرق بغداد وجهزه بما يحتاج من أدوات للرصد الفلكي. ويقال أن المأمون كان يحضر بعض مجالس العلم في هذا المرصد. وقد أصبح علم الفلك في ذلك العصر مثار اهتمام عليّة القوم. ومن أشهر إنجازات عهد المأمون في الفلك قياس محيط الأرض، وهذا ما سوف نبينه في الفصل الثالث إن شاء الله.



الشكل (3-7) لوحة تمثل علماء فلك مسلمين مع آلاتهم

ومن مشاهير الفلكيين على عهد المأمون أولاد موسى بن شاكر الثلاثة وسند بن علي الذي كان يرأس الهيئة العلمية لديوان الخلافة وأحمد بن عبدالله المروزي وخالد بن عبد الملك ويحيى بن أبي منصور المنجم وعلي بن عيسى وأبو اسحق الكندي وعلي بن البحتري وعبد الملك المروزي. ومن المترجمين حسنين بن اسحق وثابت بن قرة وله مساهمات جليلة في الفلك والرياضيات.

ولعل ما يلفت النظر العدد الكبير لأسماء النجوم والكوكبات العربية الأصل مما يؤكد دور العرب والمسلمين في علم الفلك. ولكي نبين ذلك أدرجنا في الجدول (1-2) عدداً من النجوم والكوكبات والمنازل بأسمائها العربية الأصلية والاسم المقابل المعتمد حالياً في اللغة الإنكليزية.

إن من يطّلع بعمق على مساهمات العرب والمسلمين في علم الفلك ليجد قدراً كبيراً من الأعمال الجليلة قام بها عرب مسلمون أو مسلمون من أمم أخرى عاشوا في كنف الحضارة العربية وتربّوا على أصولها وإن تحقيق هذه الإنجازات تاريخياً وعلمياً لا زال حتى الآن في بدايته.

جدول (3−1) أسماء بعض النجوم والكوكبات والمنازل

الإسم العربي	الإسم بالأنجليزي	الإسم العربي	الإسم بالأنجليزي
الركبة	Ruckbah	الدبران	Al debaran
آخر النهر	Acarnar	المرزم (مرزم الجبار)	Mirzam
الغول	Algol	سعد الذابح	Dabeh
الجنب	Algenib	ظهر الأسد	Duhr
الكف الخضيب	Caph	النصل	El Nasl
النسر الطائر	Atair	الناطح	El Nath
فم الحوت	Fomalhut	النصل	Alnasl
الذنب	Deneb	منكب الفرس	Markab
الرجل	Rigil	بيت القوس	Betelgause
آخر النهر	Achernar	رجل الأسد	Regulus
سيف الجبار	Seif	النهار	Nihal
اللطخة	Alasha	صدر الدجاجة	Sadr
الشرطان	Sheratan	أنف الفرس	Enif
الصدر	Schedir	القائد	Al Kaid

ومن أشهر أعلام العرب المسلمين في علم الفلك والهيئة السماوية المشرقيين:

أبو معشر الفلكي (189هـ/805م–273هـ/886م)

أبو الحسين عبدالرحمن بن عمر الصوفي (ت 375هـ/986م)

محمد بن جابر بن سنان البتّاني (ت 317هـ/939م)

أبو الوفا البوزجاني (328هـ/940م–378/989م)

ويجن بن رستم الكوهي (ت هـ/ م)

علي بن يونس المصري(ت هـ/ م)

الحسن ابن الهيثم (354هـ/965م–430هـ/1039م)

أبو الريحان البيروني(ت440هـ/)

عبدالرحمن الخازني (ت 550هـ/1155م)

كمال الدين بن يونس الموصلي (ت 639هـ/1242م)

البديع الاسطرلابي (ت 543هـ / 1140م)

نصير الدين الطوسي (672هـ/1274م)

أولغ بك (841هـ/1437م)

غياث الدين الكاشي (ت 838هـ/1434م)

أبن الشاطر (777هـ/1375م)

السهل الاسطرلابي النيسابوري

بهاء الدين العاملي (ت 1031هـ/1920م)

ومن علماء الفلك العرب المسلمين في الأندلس والمغرب:

مسلمة المجريطي (ت 398هـ/1008م)

أحمد بن محمد النقاش (ت 493هـ/1100م)

إبراهيم بن يحيى الزرقالي (ت 479هـ/1087م)

جابر بن أفلح الاشبيلي (ت 540هـ/1145م)

أبو اسحق البطروجي (ت 586هـ/1190م)

ابن البناء المراكشي (729هـ/1329م)

إن أهم ما يميز الفترة العربية الإسلامية في تاريخ علم الفلك أنها اعتمدت الأرصاد الفلكية لنقد النظرية الفلكية واختبارها، كما طورت خلال هذه الفترة الكثير من الأجهزة الفلكية اللازمة للرصد.

الفصل الرابع

علم الفلك الحديث

في نهاية القرن الخامس عشر الميلادي انتقل مشعل الحضارة من يد العرب المسلمين إلى يد الأوروبيين، وذلك بعد أن تضاءلت المساهمات العلمية للعرب والمسلمين عموماً وضعف دورهم الحضاري واستبد ملوكهم وسلاطينهم بالحكم ، وبدأ زحف الخراب على العمران. ودخل العرب والمسلمون في نفق مظلم لازالوا فيه حتى هذا اليوم. وفيما يلي سنعرض بإيجاز لأهم المنجزات العلمية التي أدت إلى حصول تحول جديد في آفاق علم الفلك كان بمثابة التوطئة التاريخية لحصول تحول نوعي في التعامل مع السماء وأجرامها.

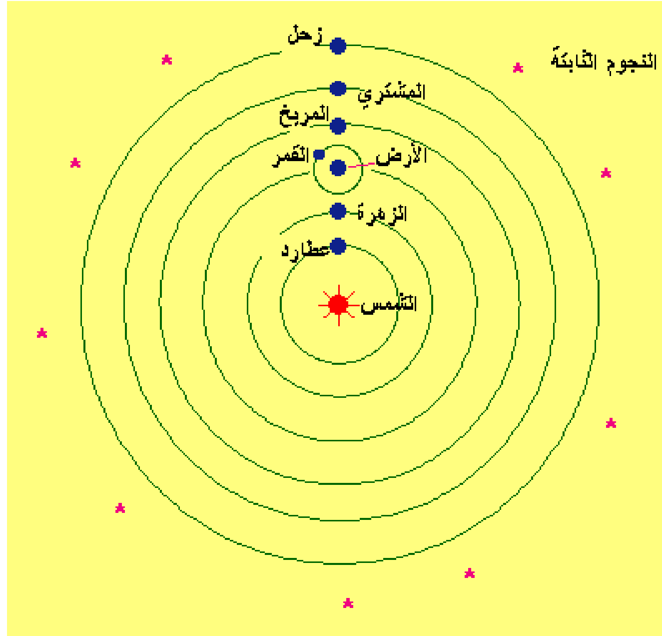
وكما سنرى في ثنايا الموضوع فإن التحولات العظيمة التي حصلت في علم الفلك إرتكزت على عاملين أساسيين، الأول: هو إعتماد التجريب والأرصاد الفعلية دليلاً لقيادة النظرية، وهذه هي المنهجية العلمية الصحيحة التي كانت المرحلة العربية الاسلامية قد أسست لها وركزت دعائمها. والثاني هو مراجعة النظرية البطليمية والنقود التي وجهها إليها الفلكيون العرب والمسلمون، ومن أهمها نقد ابن الشاطر الدمشقي. وكان الفلكيون العرب قد قاموا بإعداد الكثير من التقاويم الفلكية القائمة على حساب الأرصاد الذي يختلف عن الحساب النظري. فعندما بدأ الفلكيون الأوربيون أمثال تايكو براهي ويوهان كبلر وغاليليو غاليلي في نهاية القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر الميلاديين في سبر السماء كانت بين أيديهم كثير من أعمال وأرصاد وتقاويم الفلكيين العرب والمسلمين، ولابد وأنهم إعتمدوها دليلاً لتطوير أعمالهم.

نيكولاس كوبرنيكوس (1472-1543)م

تمثلت أبرز إنجازات علم الفلك في الفترة الحديثة بإعلان **كوبرنيكوس** أن الشمس هي مركز حركات الفلك الكوكبية. فوضع النموذج الكوكبي الذي يعتمد "**مركزية الشمس**" Heliocentric model الذي كان ابن الشاطر الدمشقي قد توصل إليه قبل ذلك. وبموجب هذا النموذج صارت الكواكب بما فيها الأرض تدور

حول الشمس في مدارات دائرية وتتوزع في أبعادها حول الشمس بحسب مدة دورانها في أفلاكها، وكما يلي: عطارد الزهرة الأرض المريخ المشتري وزحل. فيما يدور القمر حول الأرض في مدار مستقل.

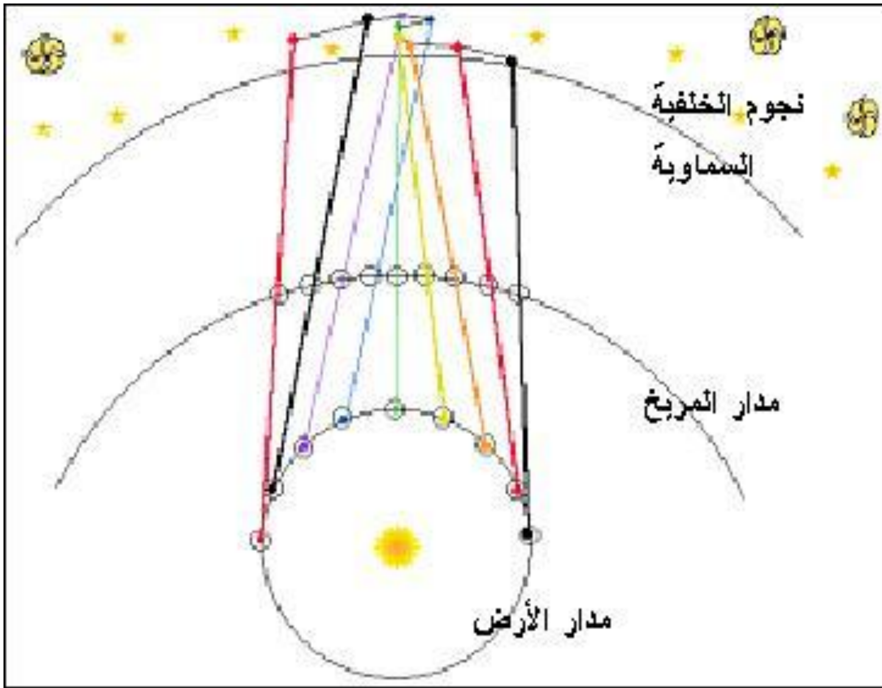
فضلاً عن ما ورد أعلاه فإن كوبرنيكوس قال أيضاً بدوران الأرض حول نفسها وبالتالي فسّر بطريقة جديدة الحركة اليومية للشمس حول الأرض. وبموجب هذا النموذج صارت الشمس مركزاً للنظام الشمسي الكوكبي وبذلك استطاع أن يقدم تفسيراً بسيطاً للحركة التراجعية للكواكب في مداراتها دون حاجة إلى نظريات أفلاك التدوير المعقدة. لكن كوبرنيكوس تصور أن مدارات الكواكب حول الشمس هي مدارات دائرية منتظمة فأوقعته في مشكلة عدم توافق الحسابات المدارية مع نتائج الأرصاد الفلكية لحركات الكواكب. كما كان من الصعب على الناس العلماء منهم والعامة أن يتصوروا وجودهم على أرض متحركة لذلك لم يلق نموذج كوبرنيكوس الترحاب الواسع في الأوساط العلمية.



الشكل (4-1) نموذج كوبرنيكوس للنظام الشمسي

تفسير حركات الكواكب وفق نظرية كوبرنيكوس

وقد استطاع كوبرنيكوس أن يفسر الحركة التراجعية للكواكب من الناحية المفاهيمية الصرفة وليس من الناحية الرصدية الدقيقة. وهذا التفسير يقوم على فكرة تسابق الأرض في مدارها حول الشمس مع الكوكب فبالنسبة للمريخ نجده أبطأ من الأرض في دورانه حول الشمس لذلك فإن الأرض حين تلحق به يبدو وكأنه يتباطأ حتى إذا أدركته بدا وكأنه في الثبات حتى إذا سبقته صار في الرجوع حتى إذا دارت وعبرته بدا متراجعاً حتى إذا صارت الأرض إلى بداية النصف الثاني من مدارها صار المريخ في الثبات للاستقامة ثم يستأنف المريخ حركته العادية متحركاً من الغرب إلى الشرق.



الشكل (4-2) تفسير الحركة التراجعية

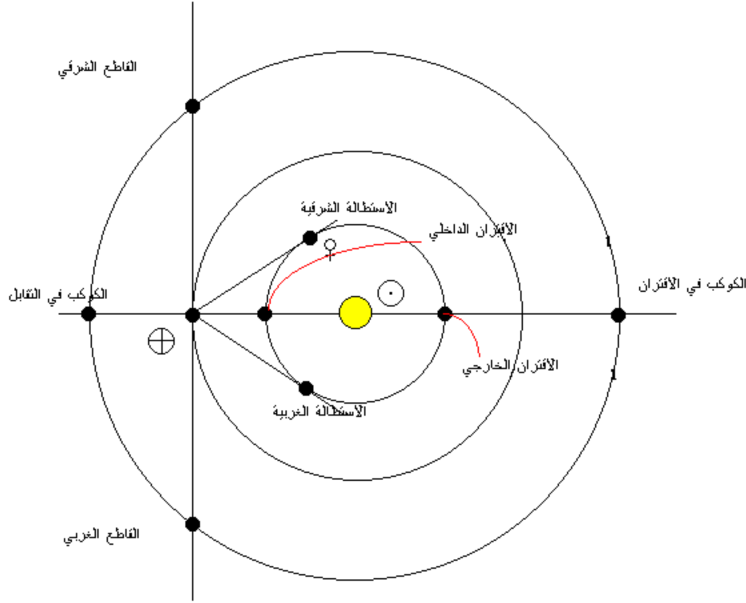
حركة الكواكب الخارجية

يقصد بالكواكب الخارجية تلك التي تقع مداراتها خارج مدار الأرض وهذه هي المريخ والمشتري وزحل واورانوس ونبتون وبلوتو. وتعرّف مواقع الكواكب بمقدار الزاوية التي يصنعها الخط الواصل بين الأرض والكوكب مع الخط الواصل بين الأرض والشمس. وتسمى هذه الزاوية **الاستطالة Elongation** ، ويرمز لها بالحرف ***E*** . فإذا كان الكوكب مقترناً بالشمس تماماً فإن $E=0°$ ، ويقال عندئذ أن الكوكب هو في **الإقتران Conjunction** وفي مثل هذا الموقع يطلع الكوكب ويغرب مع الشمس ولا نتمكن من رؤيته. أما إذا كان الكوكب مقابلاً للشمس فإن $E=180°$، ويقال عندئذ أن الكوكب هو في **التقابل Opposition** . وكما هو الأمر في حالة البدر فإن الكوكب في هذا الموقع يطلع من الشرق عند غروب الشمس ويقطع خط الزوال عند منتصف الليل ليغرب مع انبثاق الفجر.

وللكواكب الخارجية دورين اقترانيين: الأول **شمسي Synodic** وهي الفترة بين اقترانين (أو تقابلين) متتاليين للكوكب مع الشمس. والثاني **نجمي Sidereal** وهي الفترة بين اقترانين متواليين للكوكب مع نجم معين.

حركة الكواكب الداخلية

أما بالنسبة للكواكب الداخلية ، ونظراً لأن كوكبي عطارد والزهرة لا يمكنهما أن يكونا في أي وقت من الأوقات في وضع التقابل مع الشمس بالنسبة للأرض (لأن مداريهما يقعان داخل مدار الأرض) فإن لهذين الكوكبين وضعي اقتران ، يسمى الأول الإقتران الداخلي **Inferior Conjunction** وهو الوضع الذي يكون فيه الكوكب مقترناً مع الشمس في موضع أقرب ما يكون من الأرض. أي يكون الكوكب بين الأرض والشمس. والوضع الثاني يسمى **الاقتران الخارجي Superior Conjunction** ، وهو الوضع الذي يكون فيه الكوكب مقترناً بالشمس في موقع أبعد ما يكون عن الأرض، أي تكون الشمس بين الأرض والكوكب. أنظر الشكل(2-4).



الشكل (4-2) الاقتران الداخلي والخارجي لكوكب الزهرة

وبسبب موقع كوكبي عطارد والزهرة من الشمس فإن الراصد الذي على الأرض لا يراهما إلا قريبين من الشمس عند **استطالة شرقية Eastern Elongation** و**استطالة غربية Western Elongation** فيظهر كل منهما عادةً **كنجمة صباح Morning Star** و **نجمة مساء Evening Star**. وتبلغ الاستطالة العظمى لكوكب عطارد 26 درجة بينما تكون الاستطالة العظمى لكوكب الزهرة 46 درجة. ومن المعلوم أن كوكب الزهرة يظهر أكثر سطوعاً من كوكب عطارد ويمكث في السماء بعد الغروب وقبل الشروق لفترة أطول من مكث عطارد. ولا يقطع أي من هذين الكوكبين كرة السماء.



شكل (3-4) الاستطالة العظمى لكوكب الزهرة

يظهر الرصد الفكي لكوكبي عطارد والزهرة ظهورهما **بأطوار Phases** مماثلة لأطوار القمر وسبب ذلك كونهما كوكبان داخليان ولا تحصل هذه الظاهرة مع بقية الكواكب.

تعتبر الأرض نفسها بالنسبة لراصد على سطح أي من الكواكب التي بعدها في البعد عن الشمس كوكباً داخلياً مثل كوكب المريخ ومظهرها وحركتها ستكون مثل مظهر عطارد والزهرة وحركتهما.

الدور النجمي والدور الاقتراني

تختلف أدوار الكواكب بحسب بعدها عن الشمس. ويتزايد الدور كلما بعد الكوكب عن الشمس. وحينما نرصد كوكباً نراه يدور في دائرة البروج دورة كاملة خلال مدة معينة وتسمى هذه المدة الدور النجمي Sidereal Period وتعرّف بأنها الفترة بين اقترانين متتالين للكوكب مع نجم ما. إلا أن الكوكب في دورانه هذا في دائرة البروج يمكن أن يقترن بالشمس أيضاً، وتسمى الفترة بين اقترانين متتاليين للكوكب مع الشمس الدور الاقتراني Synodic Period وفيما يكون الدور النجمي أكبر كلما

بعد الكوكب عن الشمس فإن الدور النجمي يعتمد على موقع الكوكب من الأرض. ويمكن ايجاد العلاقة بين الدورين كما يلي:

إذا كان الدور النجمي لكوكب داخلي هوP_i فإن هذا الكوكب يقطع ما P_i /360 درجة كل يوم. وإذا كان الدور النجمي لكوكب خارجي هو P_o فإن هذا الكوكب يقطع ما P_o /360 درجة كل يوم. والفرق بين هاتين السرعتين هو سرعة الكوكب في الدور الاقتراني S أي أن

$$\frac{360}{P_i}-\frac{360}{P_o}=\frac{360}{S}$$

وهذا يعني أن

$$\frac{1}{P_i}-\frac{1}{P_o}=\frac{1}{S}$$

والأن لو أننا اعتبرنا الأرض هي الكوكب الخارجي أي كانت $Po=1$ فإن علاقة الدور الإقتراني للكوكب مع الدور النجمي تعطى حسب العلاقة:

$$\frac{1}{S}=\frac{1}{P_i}-1$$

أما إذا نظرنا إلى كوكب خارجي فإن الدور الاقتراني لهذا الكوكب سوف يعرّف بدلالة الدور النجمي له كما يلي:

$$\frac{1}{S}=1-\frac{1}{P_o}$$

ومن هاتين العلاقتين يمكننا حساب الدور الاقتراني للكواكب وهذا مبين في الجدول التالي:

جدول (4–1) الدورين الاقتراني والنجمي للكواكب

الجرم	الدور النجمي بالأيام	الدور الاقتراني بالأيام
القمر	27.3	29.5
عطارد	88	116
الزهرة	225	584
الشمس	365.25	---
المريخ	687	780
المشتري	4332	399
زحل	10761	378
اورانوس	30685	369.7
نبتون	60195	367.5
بلوتو	90471	366.7

تايكو براهي (1546-1601)م :

لذلك انبرى تايكو براهي للقيام بمجهود عملاق استغرق أكثر من عشرين عاماً وأنفق خلاله ملك الدانمارك فريدريك الثاني طناً من الذهب على تمويل الأبحاث، كما يقول براهي نفسه. إنصبت جهود براهي على رصد حركات الكواكب السيارة والشمس والقمر رصداً دقيقاً مستعيناً بما توفر لديه من أجهزة القياس والرصد التي أبدعها أو

طورها العرب المسلمون ومستعيناً بأدق الأرصاد العربية الإسلامية، والتي حفظتها الأزياج التي كانت بين يديه، للمقارنة وكدليل إلى أعمال الرصد.

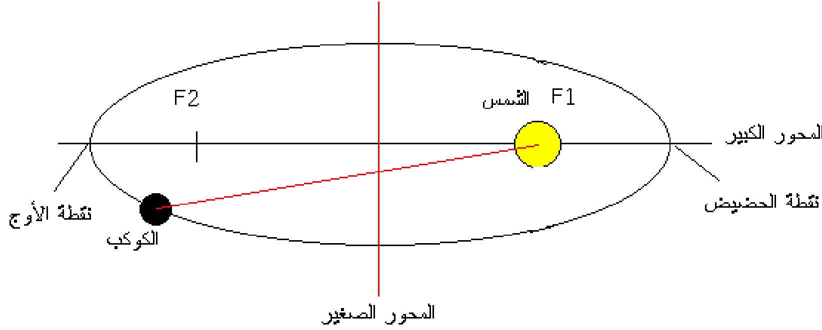
وكان عمل براهي منظماً تنظيماً عالياً، إذ أنه كان يدوّن الأرصاد بعد تدقيقها بأكثر من طريق أحياناً، وذلك لأنه لم يكن يملك تلسكوباً فالتلسكوب لم يكن قد أستخدم بعد، بل كانوا يستعملون أنابيب طويلة مطلية باللون الأسود على سطحها الداخلي. ولم يكتف براهي بالتدوين حسب، بل كان يتحرى الفرص الفلكية ويغتنمها كلما لاحت له. ففي عام 1572م وعندما تمكن من رؤية النجم المتفجر **Supernova** بالعين المجردة طبعاً، برهن براهي من خلال ملاحظة عدم حركة هذا الجرم بالنسبة إلى خلفية القبة السماوية مثل حركة الكواكب الأخرى والمذنبات، أنه أبعد بكثير من الكرات المفترضة التي تدور عليها الكواكب. وفي عام 1577 ظهر مذنب ساطع، فانبرى براهي لاثبات أن هذا المذنب لا بد من أن يكون قد مر عبر العديد من الكرات البلورية التامة المزعومة.

ومع أدراك تايكو براهي لمزايا نموذج كوبرنيكوس إلا أنه لم يقتنع بصحته، وسبب ذلك ظهور تناقض واضح بين ما يتوقعه نموذج كوبرنيكوس وما تم رصده فعلاً من مواقع للكواكب السيارة والشمس والقمر خلال عشرين عاماً من العمل الدؤوب. لذلك اعتقد تايكو براهي أن جميع الكواكب عدا الأرض تدور حول الشمس فيما تدور هذه الشمس بكواكبها جميعاً حول الأرض، وبذلك كان تايكو براهي آخر العمالقة الذين آمنوا بمركزية الأرض في الكون.

يوهانس كبلر (1571–1630)م:

كان يوهان كبلر مساعداً لتايكو براهي يعمل معه في مرصده، وبذلك ورث كبلر جميع الإنجازات الأرصادية لتايكو براهي فعكف على دراسة مسار كوكب المريخ محاولاً وضع نموذج هندسي لحركة هذا الكوكب حول الشمس. لاحظ كبلر أن جداول رصد حركة الكواكب تبين أن للكوكب سرعة عظمى في مداره يبلغها في وقت معين وسرعة صغرى يبلغها في وقت آخر. ثم لاحظ أن الفرق بين الوقتين هو نصف مدة دور الكوكب وبذلك إكتشف أن نموذج المسار الاهليجي (وليس الدائري) هو

الذي يحقق النتائج الأرصادية بدقة كبيرة، بحيث تقع الشمس في إحدى بؤرتي الإهليج. ثم قام كبلر بحساب أقطار هذه المدارات. ولما كانت أشكالها الصحيحة إهليجية وليست دائرية لذلك فإن لها قطرين مختلفين، ومركز الإهليج هو النقطة التي تقع عند تقاطع المحورين. ويسمى الكبير منها **نصف المحور الأكبر** Semi-major axis بينما يسمى الصغير **نصف المحور الأصغر** Semi-minor axis، (أنظر الشكل4-3).



شكل (4-3) المدارات الإهليجية للكواكب

ثم استطاع كبلر تعميم هذا الاستنتاج على مسارات الكواكب السيارة الأخرى بما في ذلك الأرض. فاتضحت الصورة عنده. لذلك وضع كبلر **قانونه الأول** الذي يقرر بأن:

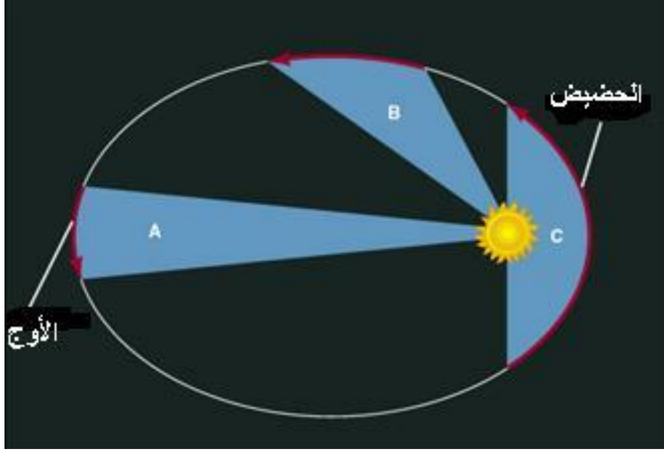
" تدور الكواكب في مدارات إهليجيية تقع الشمس في إحدى بؤرتيها ".

ثم راجع كبلر دراسة سرعة الكواكب في مداراتها فوجد أن سرعها تتغير من موقع إلى آخر بحسب بعدها أو قربها من البؤرة التي تقع فيها الشمس، وهنا بحث كبلر عن ثابت يجمع بين المتغيرين، السرعة والمسافة فوجد من خلال دراسته

لهندسة الإهليج أن هذا الثابت هو المساحة التي يمسحها الخط الواصل بين الكوكب والشمس. وبذلك صاغ **القانون الثاني** لحركة الكواكب:

" يمسح الخط الواصل بين الكوكب والشمس مساحات متساوية في أزمنة متساوية".

وهذا يعني أن سرعة الكواكب تتزايد كلما اقتربت من الشمس. وسمي هذا **قانون كبلر الثاني.** أنظر الشكل (4-3) حيث فيه المساحات A ,B, C متساوية رغم اختلاف شكلها.



الشكل (4-4) قانون كبلر الثاني

وبعد دراسة وتحليل النتائج الأرصادية تبين له أن هنالك علاقة مباشرة بين زمن الدور والبعد، فقال: **" يتناسب مربع زمن دورة الكوكب حول الشمس تناسباً طردياً مع مكعب نصف المحور الكبير"** وسمي هذا الاكتشاف **قانون كبلر الثالث**.

وصفت هذه القوانين الثلاثة المتكاملة حركة الكواكب حول الشمس وفق المنظور الجديد القائل بمركزية الشمس بشكل أصبحت فيه الحسابات تطابق

الأرصاد الفلكية إلى درجة كبيرة. بذات الوقت الذي فسّرت فيه الحركات التراجعية للكواكب دون ما حاجة إلى وجود أفلاك التدوير.

إن لقوانين كبلر هذه فائدة عظيمة في الحسابات الفلكية ويمكن القول أن اكتشاف هذه القوانين كان مفتاح التقدم الهائل الذي شهده علم الفلك الحديث بل وعلم الميكانيك والحركة بشكل عام إذ أن هذه الاكتشافات مهدت السبيل أمام نيوتن لاكتشاف قانون الجذب العام.

ولكي نبين جانباً من أهمية قوانين كبلر هذه نقول أن أي راصد بسيط يستطيع باستخدام قانون كبلر الثالث حساب بعد أي جرم سماوي يدور حول الشمس إذا عرف مدة دورانه حولها. فلو رصدنا مثلاً حركة بلوتو لوجدنا أنه يقطع دائرة البروج في مدة قدرها 248 سنة أرضية. وطبقاً لقانون كبلر الثالث يكون: مكعب نسبة بعد الكوكب عن الشمس إلى بعد الأرض عنها مساوية إلى مربع نسبة زمن دورة الكوكب حول الشمس إلى زمن دورة الأرض حولها. وهذا يعني أن:

$$(a \text{ Au} / 1\text{Au})^3 = (P \text{ year}/1\text{year})^2$$

أي أن مربع زمن دورة الكوكب P محسوبة بالسنين تساوي مكعب بعده عن الشمس محسوباً بالوحدات الفلكية:

$$P^2 \text{ (in years)} = a^3 \text{ (in astronomical units)}$$

وكمثال لتطبيق هذا القانون نذكر أن زمن دور كوكب بلوتو هو حوالي 248 سنة لذا فإن

$$a = 39.5 \ Au$$

أي أن بعد بلوتو عن الشمس هو حوالي 40 مرة بقدر بعد الأرض عن الشمس.

غاليليو غاليلي (1564-1642)

بعد أن ظهرت قوانين كبلر الوظعية والتي جاءت من الناحية الأساسية مؤيدة لمبدأ مركزية الشمس والتي نقضت بالتالي أسس الؤية الأرسطية للعالم جملةً، طرح الفلكيون تساؤلاً مهماً عن مصداقية الفلسفة الأرسطية بما يخص الحركة الطبيعية للكواكب وأسبابها الحقيقية. فأخذ غاليليو غاليلي الإيطالي على عاتقه مهمة دراسة الحركة الطبيعية مبتدءاً بدراسة السقوط الحر للأجسام نحو الأرض. ولقد مهدت أعمال غاليلو غاليلي وتجاربه العملية لوضع علم الحركة على أسس صحيحة ودقيقة قائمة على الحساب الرياضي، وفي الوقت الذي لم يتم غاليليو غاليلي وضع الصياغات الرياضية لمعادلات الحركة إلا أن دراسته للحركة وفق المنهج التجريبي وتدوينه للمشاهدات مكنته من إيجاد العلاقات بين المتغيرات الحركية وبذلك تمكن من معرفة " **تسارع الجاذبية الأرضية**" عندما لاحظ أن جميع الأجسام تسقط بنفس العجلة نحو الأرض مهما كانت كتلها، خلافاً لما كان يراه أرسطو من أن حركة السقوط الحر للأجسام نحو الأرض تعتمد على كتل تلك الأجسام.

وقد كانت معاناة غاليليو كبيرة خلال جهده للوصول إلى هذه الحقيقة. تلك المعاناة التي اتخذت جانباً مادياً متمثلاً في كيفية متابعة حركة الأجسام الساقطة وصعوبة قياس الأزمنة على فترات صغيرة جداً إذ ما يلبث غاليليو أن يترك الجسم يسقط حتى يجد أنه قد وصل الأرض حتى لو كان موقع إسقاطه هو قمة برج بيزا. لكن غاليليو استطاع حل هذه المعضلة بحيلة "**السطوح المائلة**" فبدلاً من الإسقاط الحر للكرات الصلبة نحو الأرض مباشرة عمد غاليليو إلى دحرجتها على سطوح مائلة، وبها استطاع السيطرة على سرعة حركة الأجسام نحو الأرض.

ومن الجدير بالذكر أن غاليليو لم يكن أول من إكتشف حركة السقوط الحر للأجسام وقال بأن جميع الأجسام تسقط بنفس السرع نحو الأرض إذا كانت

في الفراغ بل قالها قبله ألمتكلم المعتزلي أبو علي الجبّائي (ت 915م) بحسب ما ذكر الحسن إبن متويه النجراني في كتاب (التكرة في أحوال الجواهر والأعراض) كما كان هبة الله بن ملكا البغدادي (ت 1165م) قد أشار الى ذلك أيضاً وقام بتحليل حركة السقوط الحر في الفراغ على نحو مستفيض في كتابه (المعتبر في الحكمة).

كما درس غاليليو الحركة الاهتزازية الطبيعية المتمثلة بحركة البندول Pendulum، وهو عبارة عن ثقل معلق بخيط مثبت في سقف. فوجد غاليليو أن مربع زمن الذبذبة P (النقلة الكاملة من موضع استقرار الثقل إلى أقصى ازاحة يميناً وشمالاً ثم العودة إلى موضع الاستقرار) يتناسب طردياً مع طول الخيط l.

وبالصيغة الرياضية يعني هذا أن

$$P^2 \propto l$$

أمّا الإضافة العملاقة لغاليليو غاليلي فقد كانت باستخدامه المنظار" **التلسكوب**" Telescope في مراقبة الأجرام السماوية ، إذ كانت المراقبة وأعمال الرصد تتم على العهود التي سبقته بالعين المجردة. ولعل غاليليو كان محظوظاً إذ وجه منظاره إلى كوكب المشتري فاكتشف أن هناك أربعة أقمار تدور حوله ولولا أنه نظر إلى كوكب المشتري بالذات لما وجد اختلافاً كبيراً ذا قيمة بين ما يراه بذلك المنظار البسيط وما تراه العين المجردة. ولعل هذا هو السبب في عدم استعمال المنظار لمراقبة السماء قبل غاليليو فقد كان المنظار يصنع في بلجيكا وهولندا ويستخدم من قبل البحارة الأوروبيين. أن هذه اللحظة تمثل مثابة مهمة في تاريخ العلم والتكنولوجيا إذ نقل استخدام المنظار المعرفة الفلكية نقلة نوعية وكمية وفتح آفاقاً جديدة للتعامل مع الكون.

لاحظ غاليليو أن على سطح القمر جبالاً وتضاريس مماثلة لتلك التي على سطح الأرض، فاستنتج أن القمر ما هو إلا كرة صخرية وليس جرماً أثيرياً يكتنفه الغموض، ولما نظر إلى الشمس رأى على سطحها بقعاً قاتمة (تسمى الآن **الكلف**

الشمسي Sunspots) تبدل مواقعها يوماً بعد يوم مما يدل على أن الشمس ليست جرماً مطلقاً بل تشوبها بقع وهي في حالة تبدل . ومن خلال ملاحظة تبدل مواقع البقع استدل غاليليو أن الشمس تدور.

ثم راقب غاليليو كوكب زحل واكتشف أنه ليس قرصاً تاماً بل تشوبه كتلة دائرية عند أطرافه ... ولم يستطع منظاره المتواضع أن يكشف عن حلقات زحل، التي عرفها أول مرة الفيزيائي الهولندي كرستيان هايغنز. كما عرف غاليليو أن لكوكب الزهرة أطواراً مماثلة لأطوار القمر ... ومن خلال مراقبته هذه الأطوار علم أن الزهرة تدور حول الشمس.

أمّا في الجانب المعنوي فقد كانت معاناة غاليليو غاليلي مع رجال الكنيسة كبيرة إذ كانوا يؤمنون بأن الأرض هي مركز الكون وأن الشمس وبقية الأجرام السماوية تدور حولها، فعانى من ذلك الأمرين.إذ وقع في صراع مع رجال الكنيسة خاصة وأنه قد جهد في سبيل نشر آرائه وانتهج في كتاباته أُسلوب أفلاطون وهو محاورة معلم حصيف (يمثله هو) وشخص لا يؤمن بنظام كوبرنيكوس سماه سبليمسيو ويرمز (طبقاً لمنتقديه) إلى البابا... لذلك حاكمته الكنيسة وأكرهته على التنازل عن ما كان قد أعلنه من آن الأرض تدور حول الشمس ثم حكمت عليه الكنيسة بالإقامة الجبرية في منزله. ولم تعترف الكنيسة الكاثوليكية بأنها أخطأت بإدانة غاليليو إلا منذ عهد قريب وذلك عام 1992م.

اسحق نيوتن (1642- 1727م)

لعل أهم ما أنجزه هذا الرجل الحصيف هو اختراعه لحسبان "**التفاضل والتكامل**". وذلك أن كثيراً من الأفكار العلمية الصحيحة لن تجد طريقها إلى التحقيق الفعلي وتفصح عن مضامينها إلا إذا اتخذت الصيغة الرمزية الصحيحة وهي الصيغة الرياضية، فهذه الصيغة هي التي تمنح المفهوم أُفقاً واسعاً إذ تطلقه من عقال التصور المجسد المحدود إلى فضاء التجريد الواسع.

قوانين نيوتن في الحركة: القانون الأول: قانون الاستمرارية

" الجسم الساكن يبقى ساكناً والمتحرك يستمر في حركته بسرعة ثابتة وعلى خط مستقيم مالم تؤثر عليه قوة خارجية".

يعرف لنا هذا القانون صيغة الحركة الحرة خارج تأثير القوى. فهو يصف حالة أي جسم مهما كانت حالته الحركية بالميل إلى البقاء على الحالة التي هو عليها دون تغيير. كما يؤشر القانون أن فعل القوة هو تغيير الحالة الحركية للأجسام.

القانون الثاني: القوة

" القوة هي المعدل الزمني لتغير الزخم ".

هذا القانون وكما هو واضح من منطوقه هو تعريف للقوة تعريفاً ميكانيكياً بدلالة تغير الزخم. وزخم الجسم كما هو معروف هو حاصل ضرب كتلته في سرعته.

يمكن صياغة هذا القانون رياضياً بالصيغة التالية:

$$F_a = \frac{dp}{dt}$$

ولما كانت

$$p = mv = m\frac{dr}{dt}$$

فإن

$$F_a = m\frac{d^2r}{dt^2}$$

حيث أننا اعتبرنا الكتلة كمية ثابتة لا تعتمد على الحالة الحركية للجسم.

وباعتبار أن التسارع هو المعدل الزمني لتغير السرعة

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}$$

فإن القانون الثاني لنيوتن يكتب بالصيغة الجبرية كما يلي

$$F_a = ma$$

حيث أن هو التسارع ***a*** الذي يكتسبه الجسم عند فعل القوة F_a .

القانون الثالث:

" **لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتجاه** "

وهذا القانون يعرّف لنا كيفية حصول التوازن الميكانيكي، وذلك بنشوء رد فعل موازن لكل فعل.

شكّلت هذه القوانين منظومة نيوتن الحركية (الكايناماتيكية **Kinematical**).

قانون نيوتن في الجاذبية

هذه القوانين تتكامل مع وجود توصيف رياضياتي للقوة وقد قدّم نيوتن تعريفاً للقوة الجاذبية بين الأجسام في الكون بقانونه في الجاذبية الذي ينص على:

" **كل جسمين في الكون يجذب أحدهما الآخر بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما** ".

وبالصيغة الجبرية يكتب هذا القانون كما يلي:

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

حيث أن: m_1 وm_2 هما كتلتي الجسمين و**r** هي المسافة بين مركزيهما و**G** هو ثابت الجاذبية المسمى ثابت نيوتن ومقداره 6.67×10^{-11} $nt.m^2/kg^2$.

لم يقل لنا نيوتن في هذا القانون من أين تنشأ هذه القوة وما سرها. لكنه قرر كيف تتصرف القوة كمياً في الطبيعة. ومن المعروف أن هذه القوة العجيبة هي التي تحكم

الكون إجمالاً على النطاق الواسع. مداها لا نهائي ولا يحدها شيء وليس بالإمكان إلغاءها إلا موضعياً. هذه القوة هي التي تحرك الكواكب في مداراتها وهي التي تُنشأ النجوم من السحابات الغازية الخفيفة ثم توقدها من بواطنها إذ توفر الضغط اللازم لتوقّد الاندماج الهيدروجيني، وهي التي تُنشيء المجرات من السدم الكونية العملاقة. وهذه القوة هي التي ستحدد مصير الكون في النهاية.

إن هذا القانون ومعه قوانين نيوتن الثلاث في الحركة تستطيع تفسير جميع الحركات الطبيعية الناشئة عن فعل قوى الجاذبية الكونية. إذ يكفي لمعرفة مسار أي جسم أو منظومة أجسام في الكون معرفة الشروط الابتدائية **Initial Conditions** للحالة وبعدها يصبح تصرف المنظومة معلوماً كنتيجة لحل المعادلات التفاضلية التي تقررها قوانين نيوتن. وذلك وفقاً للمعادلة التفاضلية:

أي أننا ينبغي أن نجد حل المعادلة التفاضلية التالية:

$$\frac{d^2r}{dt^2} - \frac{k}{r^2} = 0$$

$$m\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{GmM}{r^2}$$

حيث أن

$$k = GM$$

إن الحل العام لهذه المعادلات التفاضلية هو بالضرورة أحد القطوع المخروطية المعروفة، الدائرة أو الاهليلج (المسمى القطع الناقص) أو القطع المكافيء أو القطع الزائد. ومن الجدير بالذكر أن الحلول المضبوطة الممكنة عادة هي لمسألة منظومة تتألف من جسمين فقط أما إذا زاد عدد الجسيمات في المنظومة عن ذلك فإن الحل لا يمكن أن يكون مضبوطاً بل تقريبياً. لذلك يعتمد الحسّابون أساليب وطرائق خاصة للتقريب Approximation للحصول على النتائج وقد تطورت مؤخراً البرمجيات الحاسوبية التي تتعامل بطرق التقريب كثيراً، مما مكننا الحصول على نتائج أكثر دقة.

مركز الكتلة لجسمين

إن القوة المشتركة بين جسمين ذوي كتلتين مختلفتين M_1 و M_2 تقرر كيفية حركتهما. وعموماً يمكن القول أن وجود أي جسمين في القضاء سيدفع كلاً منهما للدوران حول مركز الكتلة (أو مركز الجاذبية) بينهما. ويتقرر مركز الكتلة **Center of mass** بنسبة الكتلتين والمسافة بينهما.

فلو كان لدينا جسمين كتلة أحدهما m_1 والآخر m_2 والمسافة بينهما **r** فإن عزم الجسم الأول يساوي عزم الجسم الثاني. أي أن:

$$m_1 x_1 = m_2 x_2$$

حيث أن x_1 هي بعد الجسم الأول عن مركز الكتلة. x_2 هي بعد الجسم الثاني عن مركز الكتلة.

ومن الواضح أن

$$x_1 + x_2 = r$$

لذلك يكون

$$x_1 = \frac{m_2}{m_1} x_2$$

أي أن:

$$x_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} r$$

كذلك فإن:

$$x_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} r$$

وبتطبيق هذا على منظومة الأرض والقمر فإن لدينا:

$m_1 = 6\times10^{24}$ kg

$m_2 = 7.3 \times 10^{22}$ kg

$r \cong 384 \times 10^6$m

لذا فإن

$$x_1 = \frac{7.3\times10^{22} \times 384\times10^6}{6.073\times10^{24}} = 4615.8\,km$$

$$x_2 = \frac{6\times10^{24}\times384\times10^{6}}{6.073\times10^{24}} = 379\times10^{3}\ km$$

أي أن الأرض والقمر يدوران حول نقطة تقع داخل كرة الأرض بمسافة تبعد حوالي 4615 كيلومتر عن مركزها ، وتبعد عن مركز القمر بمسافة 379000 كيلومتر. ولو طبقنا هذا الحساب على حالة الشمس والأرض لوجدنا أن مركز الكتلة يقع قريباً من مركز الشمس نفسها. وهكذا نقول مجازاً أن الأجسام الصغيرة تدور حول مراكز الأجسام الكبيرة.

تسارع الجاذبية **Acceleration of Gravity**

لما كانت الأرض في حالة تجاذب متبادل بينها وبين الأجسام التي عليها وكافة الأجسام الكونية خارجها فإن قانون نيوتن الثالث يقرر أن قوة التجاذب هذه متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه.

أي:

$$\boldsymbol{F_{12} = -F_{21}}$$

وبحسب قانون نيوتن الثاني فإن وجود قوة خارجية يؤدي إلى اكتساب الجسم للتسارع. وهذا يعني أن:

$$F_{12} = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = m_1a_1$$

حيث أن a_1 هو مقدار التسارع الذي تكتسبه الكتلة m_1 بتأثير الجاذبية المتبادلة مع الكتلة m_2 وهذا هو:

$$a_1 = \frac{Gm_2}{r^2}$$

كذلك فإن الكتلة m_2 تكتسب تسارعاً باتجاه m_1 قدره:

$$a_2 = \frac{Gm_1}{r^2}$$

يعني هذا أننا إذا اعتبرها m هي كتلة أي جسم على الأرض و M كتلة الأرض فإن الجسم الساقط من ارتفاع h عن سطح الأرض يكتسب تسارعاً قدره:

$$a_m = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

حيث أن R هي نصف قطر الأرض. بينما تكتسب الأرض تسارعاً قدره:

$$a_M = \frac{Gm}{(R+h)^2}$$

ولما كانت $\frac{Gm}{(R+h)^2}$ اصغر كثيراً من $\frac{GM}{(R+h)^2}$ فإننا نقول أن الأجسام تسقط على الأرض ولا نقول أن الأرض تسقط على الأجسام.

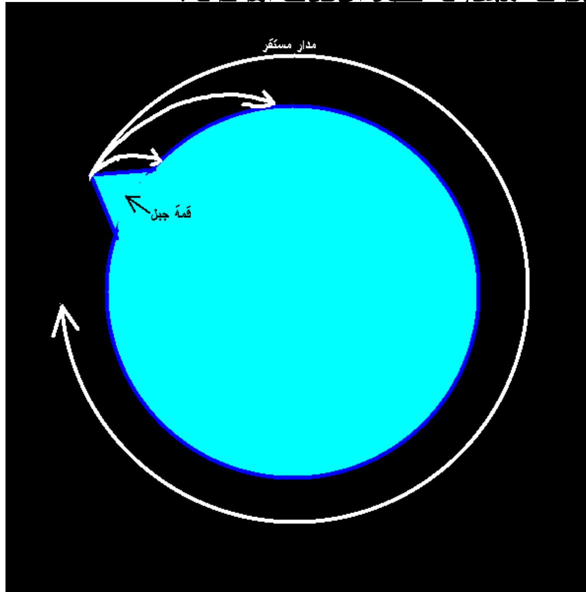
ولو اعتبرنا $h \ll R$ فإن جميع الأجسام القريبة من سطح الأرض تسقط عليها بتسارع قدره:

$$g = \frac{GM}{R^2} = 9.8\ m/s^2$$

ويسمى هذا "**تسارع الجاذبية الأرضية**". وكما هو واضح فإن هذا هو مقدار ثابت لا يعتمد على كتلة الجسم الساقط بل على ارتفاعه فقط عن سطح الأرض. والقيمة المعطاة هنا هي مقدارالتسارع الأرضي عند مستوى سطح البحر.

السرعة المدارية Orbital Velocity

لو القينا جسماً بسرعة أفقية فإنه سيطير مسافة ثمّ يقع على الأرض ثانية. وتعتمد المسافة التي يقطعها الجسم على سرعته الابتدائية. ولو أننا استهدفنا أن نحصل دائماً على المدى الأقصى لوجب علينا أن نثبت زاوية الإطلاق عند 45 درجة. وعندئذٍ نحصل دوماً على مدى أكبر كلما ازدادت السرعة الابتدائية للجسم. وهكذا يمكن أن نستمر في هذا التمرين حتى يكون الجسم قد أفلت من الأرض واتخذ مداراً حولها كما مبين في الشكل (4-5). في هذه الحالة التي يتخذ فيها الجسم مداراً دائرياً ثابتاً حول الأرض تكون القوة المركزية الناتجة عن رد الفعل الحركي على التغير المستمر في اتجاه الحركة مساوية لقوة الجذب المركزية.



الشكل (4-5) مدارات ممكنة

أي أن

$$\frac{mv^2}{R+h} = \frac{GmM}{(R+h)^2}$$

ومنها نجد السرعة المدارية للجسم الدائر حول الأرض، وهي

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

من هذا القانون يمكن حساب السرعة المدارية للأجرام القريبة من سطح الأرض أي التي يكون ارتفاعها صغيراً بالمقارنة مع نصف قطر الأرض. فلو أهملنا في القانون وعوضنا عن كتلة الأرض ونصف قطرها لوجدنا أن السرعة المدارية هي 7.92 كيلومتر في الثانية وهذه هي نفسها السرعة الابتدائية التي لو قذف بها أي جسم من على سطح الأرض لاتخذ مداراً حولها.

ومن هذا نستطيع حساب دور الجرم كما يلي

$$P = \frac{2\pi(R+h)}{\sqrt{\frac{GM}{(R+h)}}}$$

وهذا يعني أن

$$P^2 = \frac{4\pi^2(R+h)^3}{GM}$$

من المفيد مقارنة هذه الصيغة لمربع زمن الدورة مع قانون كبلر الثالث.!!

يمكن وضع مفهوم السرعة الدورانية بضوء مبدأ الطاقة الكلية حيث نقول أن الجسم المقذوف يتخذ مداراً دائرياً حول المركز الجاذب نصف قطره r عندما تكون الطاقة الميكانيكية الكلية له صفراً. أي

$$E_{tot} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r}$$

ووفق هذه القاعدة، إذا كانت $E_{tot}<0$ فإن المدار الذي يتخذه الجسم سيكون اهليجياً مغلقاً (قطع ناقص) Ellipse أو دائرة. أمَّا إذا قذفنا الجسم بسرعة اكبر أي كانت $E_{tot}>0$ فإنه سيتحرك على مدار مفتوح قطع مكافئ Parabola.

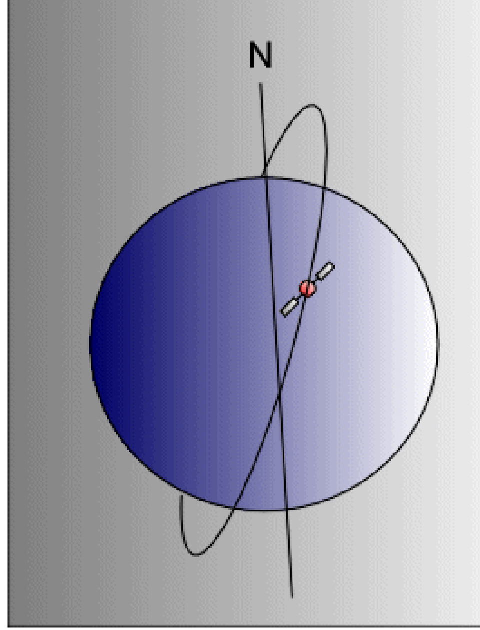
مدارات الأقمار الصناعية Satellites Orbits

من المعروف أن الأقمار الصناعية تُطلق لأغراض مختلفة. فمنها ماهو لأغراض المسح الفضائي بأنواعه المختلفة، ومنها ما هو لأغراض مراقبة الأحوال الجوية، ومنها ماهو لأغراض الاتصالات والبث التلفزيوني وغيرها. وتصمم مدارات الأقمار الصناعية بما يتناسب مع الغرض منها. وهذه التصاميم تتقرر بموجب السرعة المطلوبة للقمر الصناعي واتجاه حركته وذلك يتحدد بموجب المهمة المخصص لها. وعادة تكون مدارات الأقمار الصنعية السريعة واطئة جداً بينما تكون مدارات الأقمار البطيئة عالية. ولكن من المؤكد أن الأقمار ذوات المدارات الواطئة تتعرض إلى اعاقة كبيرة من الغلاف الجوي مهما كان رقيقاً وبالتالي تسهم هذه الاعاقة في تقليص سرعة القمر الصنعي وبالتالي سقوطه. أي أن الأقمار ذوات المدارات الواطئة تكون ذات أعمار قصيرة. وهنالك نوعين أساسيين من المدارات هما:

المدارات القطبية Polar Orbits

وهي التي تختص بها أقمار المسح الفضائي، وتكون مصممة بحيث يدور القمر الصناعي في مدار شبه دائري في مستوي يمر بالقطبين الشمالي والجنوبي بحيث يؤدي دوران القمر حول الأرض ودوران الأرض حول نفسها الى مسح سطح الأرض خلال عدد من الدورات تعتمد على السرعة المدارية للقمر الصناعي ومدى **حقل النظر** Field of View ويمكن التحكم بالسرعة المدارية من خلال تحديد ارتفاع معين للقمر الصناعي، (أنظر الشكل 4-6)، فإذا أريد للقمر أن يكون سريعاً تطلب ذلك أن يكون ارتفاعه واطئاً. أما إذا أريد أن يكون زمن المسح طويلاً أمكن وضع

القمر الصناعي في مدار عالٍ. لكن المدار الواطئ مشاكله فالقمر الصناعي الواطي سوف يعاني من تأثيرات الهواء عليه وهذه، وإن كانت قليلة، إلا أنها ستؤثر كثيراً على مدار القمر وتجعله يتقلص سريعاً حتى يسقط القمر أرضاً.



الشكل(6-4) مدار قطبي

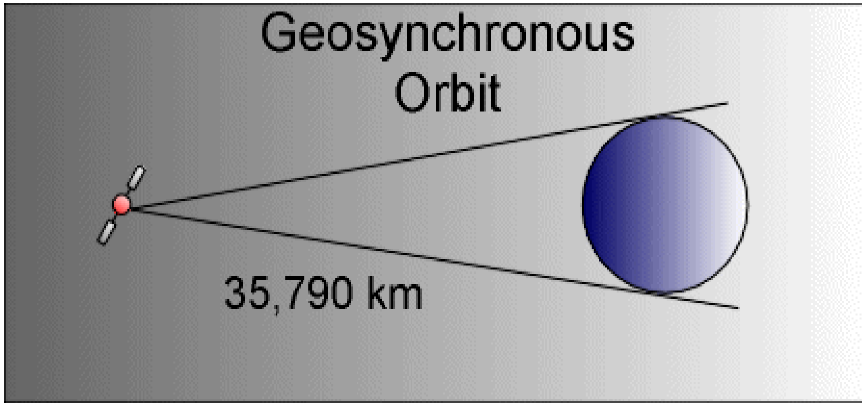
المدارات الاستوائية

وهي التي تكون موازية لخط الاستواء السماوي وأهم هذه المدارات ما كان متزامناً أو ثابتاً.

المدارات الثابتة Geostationary Orbits

وتسمى أيضاً **المدارات المتزامنة** Geosynchronous Orbits، وهذه تختص بها أقمار الإتصالات والبث الفضائي حيث يُراد وضع القمر الصناعي ليكون سمت نقطة ثابتة على الأرض لا يبارحها. أي أن يمتلك سرعة دورانية مساوية لسرعة

دوران الأرض حول نفسها. ومن الواضح أن كل مدار متزامن يجب أن يكون استوائيا ولكن ليس كل مدار استوائي سيكون متزامناً بالضرورة.



الشكل (4-7) المدارات الاستوائية

ويمكن حساب ارتفاع المدار الثابت باستخدام قانون كبلر الثالث كما يلي:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{GM}$$

إذ يمكننا التعويض عن

$$M = M_{Earth} = 6 \times 10^{24}\ kg,\ G = 6.67 \times 10^{-11}\ N\ kg^2 / m^2$$

وكذلك

$$T = 24\ h = 86\ 400\ s = 8.64 \times 10^4\ s$$

لنحصل بعد الحساب على

$$R + h = 42300 Km$$

أي أن ارتفاع المدار الثابت هو بحدود 36300 كيلومتر.

سرعة الإفلات: Escape velocity

إذا قذفنا جسماً بسرعة بشكل افقي موازي لسطح الأرض فإن هذا الجسم سيتمكن من الافلات من جاذبية الأرض تماما ويستمر في حركته إلى المالانهاية إذا امتلك سرعة إبتدائية معينة تسمى سرعة الافلات Escape Velocity. ويمكن حسابها باعتبار أن هذه السرعة تتحقق عند تحول الطاقة الحركية للجسم المقذوف المنطلق بسرعة ϑ إلى طاقة كامنة عند موقع يبعد r من وحدات المسافة عن مركز الجسم. أي أن:

$$\frac{1}{2}m\vartheta^2 = \frac{GmM}{r}$$

وهذا يعني أن:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

تطبيقات:

يمكن الاستفادة من هذه القوانين البسيطة لحساب كميات مفيدة وحل مسائل عديدة منها: **مثال 1:**

احسب سرعة الإفلات من سطح الشمس، علماً أن كتلة الشمس هي $\mathbf{2\times10^{30}}$ كيلوغرام. ونصف قطرها هو $\mathbf{6.5\times10^{8}}$ متر ثمّ قارن ذلك مع سرعة الإفلات من الأرض.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

في هذا القانون ستكون r هي نصف قطر الشمس وذلك لأننا نريد تحصيل سرعة الإفلات عن السطح فقط.

لذا فإن

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^{30}}{6.5 \times 10^{8}}}$$

≈ 617 m/s

أمَّا سرعة الإفلات من سطح الأرض فهي:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{6.4 \times 10^{6}}}$$

= 11.2×10^3 m/s = 11.2 km/s

وهكذا يمكن حساب سرعة الإفلات من سطح أي جرم آخر. والقانو أعلاه يمكن تبسيطه كما يلي:

$$\vartheta(in\, km/s) = 11.2 \times \sqrt{\frac{M}{r}}$$

حيث أن M هي كتلة الجرم بوحدات كتلة الأرض وr هي نصف قطر الجرم

كيف تتحكم سرعة الافلات بالأغلفة الغازية للنجوم والكواكب

إن مثل هذه المعلومات مهمة جداً لمعرفة حركة الأجسام والموائع قرب سطح الجرم السماوي. فإذا كانت سرعة الإفلات صغيرة لجرم معين استنتجنا مقدماً أنه لن يمتلك غلافاً جوياً نظراً لأن جزيئات الغازات المحيطة به سوف تهرب تدريجياً إلى الفضاء الخالي. لكن جرماً مثل الشمس يمتلك سرعة إفلات عالية نسبياً يحتفظ ببنيته الغازية وعن الحرارة العالية والطاقة الحركية الكبيرة التي تمتلكها جزيئات الغاز التي على سطحه.

والعلاقة بين معدل سرعة الجزئ u ودرجة الحرارة T هي:

$$\frac{1}{2}mu^2 = \frac{3}{2}kT$$

حيث أن m هي كتلة الجزيء. و k هي ثابت بولتزمان و T درجة الحرارة بالكلفن.

لذلك تكون معدل سرعة الجزئ هي:

$$u = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

ويمكن كتابة القانون أعلاه بصور مبسطة كما يلي

$$u\,(in\,km/s) = \sqrt{\frac{T}{m}}$$

حيث أن T هي درجة حرارة السطح بالكلفن و m هي كتلة جزيئة الغاز بالكيلوغرام.

نوكد هنا أن u هي معدل سرعة الجزيئات أي سرعة الغالبية منها، ويعني هذا أن هنالك قليل من الجزيئات التي تمتلك سرعات هي أعلى من u وهنالك جزيئات ذوات سرع أقل منu . لذلك فإنه حتى وإن كانت سرعة الافلات ϑ أقل من u فإن تسرباً من الغلاف الجوي يتوقع حصوله لكن بمعدل واطيء.

مثال 2: احسب درجة حرارة جو الشمس اللازمة لإفلات الهيدروجين H من جو الشمس. علماً أن كتلة ذرة الهيدروجين هي 1.67×10^{-27} كيلوغرام وأن ثابت بولتزمان هو 1.38×10^{-23} جول/كلفن.

الحل :

$$\vartheta_{esc.} = 617\times10^{3}\ \text{m/s}$$

$$T = \frac{mu^2}{3k} = \frac{1.67\times10^{-27}\times\left(6.7\times10^{3}\right)^2}{3\times1.38\times10^{-23}}$$

$$= 1.5\times10^{7}\ \text{K}$$

أي 15 مليون درجة كلفن.

مثال 3: إذا كانت سرعة الإفلات للقمر هي 2.4 كيلو متر/ثا ودرجة حرارة سطحه هي 375 كلفن. فهل يمكن أن يحتفظ بغلاف جوي من الهيدروجين؟

الحل :

$$\text{K.E} = \frac{3}{2}kT = 7.7\times10^{-21}$$

$$u = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 96.4\times10^{3}\ m/s$$

وبما أن هذا اكبر من سرعة الإفلات فإن القمر لن يستطيع الاحتفاظ بغلاف جوي سميك. ولكن نظراً لقرب هذا الرقم من سرعة الإفلات فإن القمر يحتفظ بغلاف جوي رقيق جداً مؤلف من النيون والهليوم.

لقد اكتشف نيوتن المتغيرات الأساسية لقوة الجاذبية الأرضية وتلك هي كتل الأجسام والمسافة بينها، ثم عمم هذه القوة على مجمل الكتل في الكون فتوصل إلى

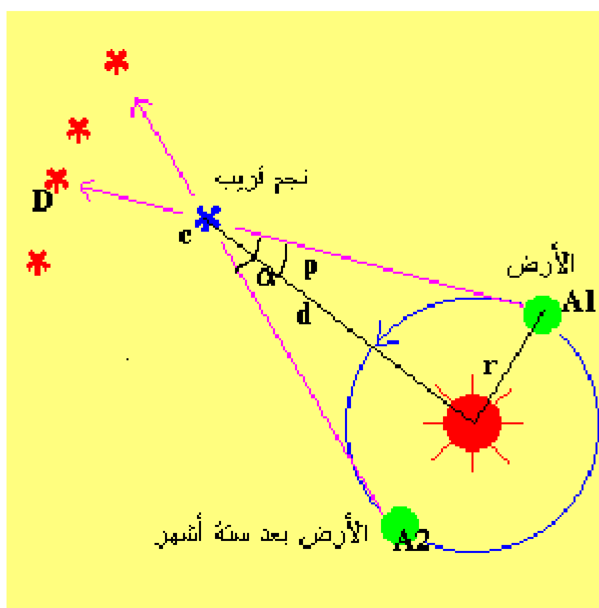
صياغة حركة الأجرام السماوية حول مراكز الكتلة، وحقق من خلال ذلك قوانين كبلر الثلاثة في حركة الكواكب السيارة. والتي كان كبلر من استنتجها من خلال الأرصاد الفلكية الصرف دون اشتقاقات رياضية..وبقيت مفاهيم نيوتن سائدة لأكثر من مائتي سنة حتى جاءت نظرية النسبية لآينشتين في بداية القرن العشرين بمفاهيم بديلة أكثر دقة. لقد مكنت قوانين نيوتن في الحركة والجاذبية الكونية الفلكيين من التعامل مع المنظومة الشمسية كمنظومة فيزيائية ذات أسس وأصول حركية معروفة وبالتالي قابلة للحساب الدقيق مما مكنهم من اكتشاف كوكبين هما اورانوس ونبتون عن طريق التوقع الذي يفضي به الحساب. كما تخضع الكواكب فيما بينها إلى قوى تجاذب تبادلية تؤدي إلى التأثير على حركتها تأثيرات طفيفة لكنها محسوبة وقابلة للرصد الفلكي. هذه التأثيرات الطفيفة تسمى Perturbations يمكننا حسابها من خلال قوانين الميكانيك السماوي Celestial Mechanics المتقدمة حاليا تقدما كبيرا، خاصة بعد تطوير البرامجيات الحسابية واستخدام الحواسيب الكبيرة. ولكن من الجدير بالذكر هنا أن معظم مدارات الكواكب تكاد تكون دائرية حيث أن مقدار التفلطح في مداراتها قليل جداً لا يكاد يُذكر (أنظر جدول الخواص المدارية للكواكب في الملحق). وهذه قضية تعتبر غير مفهومة حتى الآن. لذلك تبقى النظرية الكوكبية Planetary Theory من الناحية العملية نظرية تعتمد على كثير من الجوانب الوضعية.

الفصل الخامس

رصد السماء

قياس المسافات الفلكية بطريقة اختلاف المنظر

هناك بعض النجوم قريبة منا على الأرض حيث يحتاج الضوء المنبعث منها لبضع سنوات حتى يصلنا إلى الأرض أما البعض الأخر من النجوم فهي بعيدة جداً لدرجة تفوق الخيال. وسنناقش هنا طريقة مباشرة لتعين أبعاد النجوم عن الأرض تدعى بطريقة **اختلاف المنظر النجمي** Stellar Paralax، والطريقة مبينة في الشكل (1-5).



شكل(1-5) قياس أبعاد النجوم بطريقة اختلاف المنظر

حيث يتم رصد أحد النجوم C من النقطة A_1 على الأرض وتؤخذ له صورة فوتوغرافية فيبدو النجم القريب C بمحاذاة أحد النجوم البعيدة وليكن D وعندما تدور الأرض نصف دورة على مدارها حول الشمس فتصل إلى النقطة المقابلة A_2 أي بعد ستة أشهر، يتم رصد نفس النجم القريب C مرة أخرى وتؤخذ له صورة فوتوغرافية جديدة فنجد انه لا يُرى في مكانه الأصلي، وإنما يُرى في مكان

آخر يبتعد مسافة ما عن المكان الذي رُصد منه سابقاً، أي بمحاذاة أحد النجوم البعيدة وليكن T وبسبب البعد الكبير للنجم D فإن الراصدين عند النقطتين A_2,A_1 سوف يرقبان النجم C سيكون باتجاه A_1D ومن ناحية أخرى فإن الراصد A_2 يرى النجم القريب C باتجاه A_2T ، ويصنع زاوية α مع الاتجاه A_1D ما بين المستقيمين A_2C و A_1C . ولقد اتفق الفلكيون على أن تدعى الزاوية التي يحصرها عند النجم نصف قطر مدار الأرض حول الشمس **بزاوية اختلاف المنظر** Parallax angle (P) حيث

$$P = \frac{\alpha}{2}$$

وعادة تكون P صغيرة جداً فتقاس بالثواني القوسية، وعليه فإنه يمكن حساب بعد النجم القريب عن الشمس (d)، ونصف قطر مدار الأرض r كما يلي:

$$\tan(P) = \frac{r}{d}$$

وإذا كانت الزاوية صغيرة جداً فإن ظل الزاوية يساوي جيب نفس الزاوية تقريباً ويساوي الزاوية نفسها مقاسه بزاوية نصف قطرية، أي أن:

$$\tan(p) \approx \sin(p) \approx p \text{ (radian)}$$

ولذا فإن

$$d = \frac{r}{p(radian)} = \frac{r}{(p'' x \frac{1}{60} x \frac{1}{60})^0 (\frac{\pi}{180^0})}$$

أي أن

$$d = \frac{1\,AU \times 60 \times 60 \times 180}{3.14\; p''} = \frac{206265\,AU}{p''}$$

لاحظ أيضاً أن وحدة قياس المسافة d هنا هي الوحدة الفلكية Astronomical Unit ومقدارها متوسط المسافة بين الأرض والشمس.

إذا كانت زاوية اختلاف المنظر("1) فإن بعد النجم عن الشمس يصبح 206265 وحدة فلكية، ونظراً للبعد الكبير للنجوم فإن الوحدة الفلكية لا تصلح، ولذلك تُستخدم وحدة قياس أكبر منها تدعى البارسك Parsec أو (الفرسخ النجمي)، ومقدارها 206265 وحدة فلكية، وبناءً على ذلك فإن بعد النجوم يعطي بالعلاقة:

$$d = \frac{1}{p''} \quad (parsc)$$

كما تُستخدم أحياناً وحدة أخرى لقياس الأبعاد النجمية تدعى بالسنة الضوئية (Light year)، وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة، والفرسخ النجمي يعادل 3.26 سنة ضوئية.

يلاحظ بأن زاوية اختلاف المنظر تتناقص مع زيادة بعد النجم (d). ويمكن قياس زوايا حتى "0.01 والتي تناظر أبعاداً نجمية تصل إلى (100) فرسخ نجمي أي (326) سنة ضوئية. وعلى كل حال فهناك جزء ضئيل من النجوم المتواجدة على أبعاد (20) فرسخ نجمي لها زاوية اختلاف منظر كبيرة والتي يمكن قياسها بدقة تصل إلى 10% أو أفضل من ذلك. ولذلك تستخدم طرق أخرى غير مباشرة لحساب أبعاد النجوم البعيدة جداً.

حاشية (1-4)

وحدات قياس المسافات الفلكية

على الأرض نقيس المسافات بوحدات مناسبة وهي المتر والكيلومتر والميل وللمسافات الصغيرة كأبعاد الأثاث مثلاً نستخدم المليمترات والسنتيمترات. لكننا حين نتعامل مع الكواكب والنجوم لا نجد وحدات القياس هذه مناسبة للتعبير عن المسافات الفلكية. لذلك إتخذ الفلكيون من بعد الأرض عن الشمس والذي يبلغ 150 مليون كيلومتر بالتقريب وحدة للتعبير عن أبعاد

الكواكب وسميت هذه **وحدة فلكية** **Astronomical Unit (Au)**. ولكن الفلكيين أدركوا أن هذه الوحدة ليست مناسبة للتعبير عن أبعاد النجوم حيث تصبح الوحدة الفلكية عندها مقدارً ضئيل. لذلك لجأوا إلى التعبير عن المسافات الهائلة بين النجوم باستخدام **السنة الضوئية** **Light year** وهذه هي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة كاملة وقدرها 63420 وحدة فلكية. وهنالك وحدة أكبر يستعملها الفلكيون على وجه الخصوص وهي **الفرسخ الفلكيParsec** وقدرها 3.26 سنة ضوئية وتقاس المسافات الكونية بملايين الفراسخ Megaparsec. فيما يلي علاقة هذه الوحدات ببعضها:

1 مليمتر= 10^{-3} متر

1سنتيمتر= 10^{-2} متر

1 كيلومتر= 1000 متر

1 وحدة فلكية = معدل بعد الأرض عن الشمس = 1.496×10^{11} متر

1 سنة ضوئية =المسافة التي يقطعها الضوء في سنة = 9.46×10^{15} متر

= 6.342×10^{4} وحدة فلكية

1 فرسخ فلكي = 206264 وحدة فلكية

= 3.261 سنة ضوئية

= 3.085×10^{16} متر

مثال: إذا كانت زاوية اختلاف المنظر لأقرب النجوم إلينا وهو نجم ألفا قنطورس تبلغ "0.763 فما هو بعده عن الأرض؟

$$d=\frac{1}{p''}=\frac{1}{0.763}=1.31\ parsec=4.27\quad Light\ year$$

لاحظ أن بعد النجم في العادة يدل على المسافة بين مركز النجم ومركز الشمس، وفي الأوقات التي نستعمل فيها هذا البعد للدلالة على المسافة بين مركز النجم ومركز الأرض فإن الفرق بين الاثنين هو نصف قطر مدار الأرض، وهذا

الفرق لا قيمة له بالمقارنة مع الأبعاد النجمية. وفي خلال عملية قياس زاوية اختلاف المنظر يجب إجراء بعض التصحيحات على القراءات نتيجة تأثير حركة النجم أو حركة المشاهد أو نتيجة انكسار الضوء بواسطة الغلاف الجوي للأرض. وخلال الستة شهور المنصرمة بين المشاهدات ربما تكون النجوم قد تحركت من مكانها بالنسبة للنجوم الأخرى كما أن المنظومة الشمسية بالإضافة للمشاهد ربما تكون قد غيرت مكانها. ومعظم هذه التصحيحات تؤخذ أتوماتيكيا بعين الاعتبار عند قياس زاوية اختلاف المنظر حيث أن من المعروف أن الشمس وما يتبعها من الأجرام السماوية تتحرك بسرعة 250 كم في الثانية باتجاه نجم النسر الواقع Vega.

أجهزة الرصد الفلكي

دور العرب والمسلمين في تطوير الأجهزة الفلكية

إن أهم ما يميز المساهمات العلمية العربية الإسلامية انتهاج سبيل التجريب والأرصاد وسيلة لتنمية المعرفة وتطويرها، لذلك حرص العرب المسلمون على تطوير الآلات اللازمة لتحقيق أفضل الأرصاد وأدقها على عهدهم. ولقد ساهمت هذه الآلات في تطوير نوعية الرصد الفلكي في مرحلة العرب المسلمين وما بعدها حيث أخذ الأوربيون ناصية العلم.

وإلى جانب ما قام به الفلكيون العرب المسلمون من ابتكار وتطوير وتصنيع للآلات الفلكية فإنهم ألفوا الكتب والرسائل التي توضح استخدام الآلات الفلكية، ومن ذلك كتاب الخازن المسمى "**كتاب الآلات العجيبة**" وغيره.

وفيما يلي وصف مقتضب لأهم الأجهزة والآلات الفلكية التي ابتكرها أو طورها العرب المسلمون:

1- المزولة الشمسية: Sundial

وهي آلة هندسية يعرف بها الوقت نهاراً، تتألف من شاخص وقاعدة. ويتخذ الشاخص أشكالاً عديدة فهو في بعضها كالعصا الصغيرة وفي أخرى خيط يصل بين سطحين وفي أخرى ثقب يمر منه شعاع الشمس. أمّا القاعدة فهي الصفيحة التي يجلس عليها الشاخص وتكون مقسمة إلى دوائر وأرباع وخطوط تعيّن الأوقات. ولكل مزولة علامات تحدد كيفية توجيهها من الشمس والجهات الأربع.والمزاول على نوعين: ثابتة: وهي على أنواع عديدة منها الأفقية والعمودية، والكروية والاستوائية. ومتنقلة: وهي على أنواع مختلفة وأحجام مختلفة، ومنها ما يمكن طيه وحمله في الجيب.



الشكل (5-2)مزولة شمسية قابلة

تتمثل مساهمة العرب المسلمين بالأساس في تطوير المزاول وتمكينها من تأشير الوقت الشمسي الظاهري بدقة كبيرة، وذلك من خلال فهمهم للمثلثات الكروية التي وجدوا منها قانون المزولة والذي هو: ظا (زاوية خيال الشاخص) = ظا (زاوية الساعة) + جا (عرض المكان)





الشكل (5-3) مزاول شمسية من أنواع مختلفة

وقد سميت المزاول بهيئاتها فمنها ما يسمى الحافر والحلزون والاسطوانة والمخروط وساق الجرادة... وغيرها. واليوم تصنع المزاول الشمسية من قبل مصانع وورش أوربية وأمريكية وتباع إلى من يريد اقتنائها بأسعار جيدة. كما تشكلت جمعيات عالمية لهواة المزاول الشمسية وأهمها الجمعية البريطانية للمزاول الشمسية British Sundial Society. وإليك بعض العناوين المفيدة على الانترنت في هذا الشأن:

http://astrowww.astro.indiana.edu/personnel/rberring/sundial

http://www.sundialsoc.org.uk/

http://www.sundials.co.uk/index.htm

2- الإسطرلاب:



الشكل (5-4) الاسطرلاب

وهو آلة عجيبة، يبدو أن البابليين ابتكروها لمعرفة ارتفاع الأجرام السماوية وعروض الكواكب. وقام اليونان بتطويرها وسموها "**الإسطرلاب**" ومعناه "**مرآة**

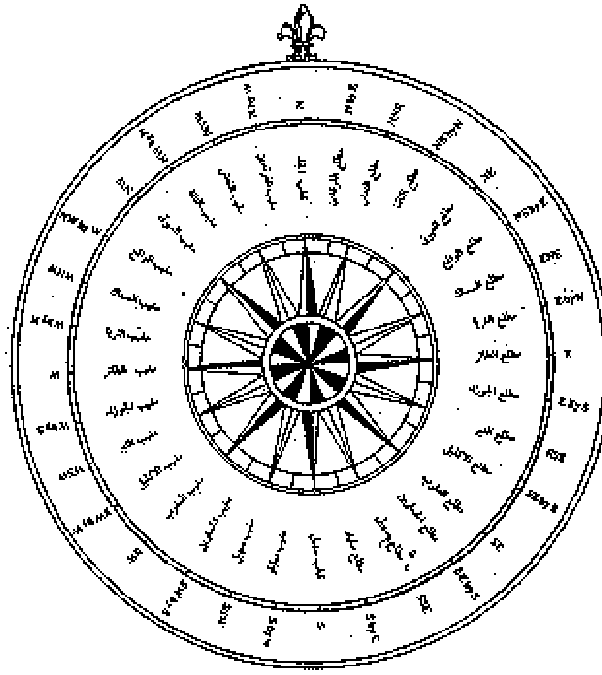
النجوم" ويذكر أن أرستارخوس اليوناني استعمل الإسطرلاب في رصد النجوم كما أن هيبارخوس صنع إسطرلابا في القرن الثاني قبل الميلاد.

وقد اهتم الفلكيون العرب المسلمون بالإسطرلاب وطوروه ليكون آلة على درجة عالية من الدقة فأضافوا إليه أجزاءً عديدة حتى أصبح جهازاً معقداً ودقيقاً، ويحتاج إلى خبرة واسعة للتمكن من استعماله.

من أول صناع الإسطرلاب المسلمين أبو عيسى الإسطرلابي وإبراهيم بن حبيب الفزاري الذي ألف كتاب "العمل بالإسطرلاب" والذي له الفضل في اختراع الإسطرلاب المسطح وذات الحلق. ومن أدق الصناع المعروفين أحمد بن محمد النقاش.

3- الحك:

وكانت تسمى " **الحقة** " أو "**بيت الإبرة**" وتسمى حالياً " **البوصلة** ". وهي عبارة عن مغناطيس مستقيم يرتكز من وسطه على محور شاقولي بحيث يكون حر الحركة في المستوى الأفقي، ويرتكز المغناطيس فوق لوحة أفقية مدرجة على مدى دائرة كاملة أي 360 درجة. تؤشر الإبرة المغناطيسية إلى اتجاه الشمال المغناطيسي دائماً ومنه يمكن معرفة الاتجاهات الأخرى. وقد استخدم العرب "الحك" في الملاحة البحرية وطوروها باعتماد تقسيمات اكثر دقة سموها **الأخنان**، ساعدتهم كثيراً في سبر البحار والمحيطات. فقد قسموا دائرة الأفق إلى 32 قسماً كل قسم سموه " **خن** "، وكل واحد منها يشير إلى ناحية من نواحي السفينة وفي الوقت نفسه يشير إلى موقع معين في الأفق. كأن يكون مطلع (شروق) أو مغرب (غروب) نجم معين من النجوم اللامعة في بروج معروفة. فاعتبروا نجم القطب الشمالي يشير إلى الشمال وقطب سهيل يشير إلى الجنوب ومطلع الفرقدين والنعش والناقة تشير إلى اتجاهات شرق الشمال والنسر الطائر إلى الشرق، ومطلع الجوزاء والتير والإكليل إلى جنوب الشرق ومطلع القرب إلى الجنوب الشرقي، ومطلع الحمارين وسهيل والسلبار إلى شرق الجنوب ويشير مغرب السلبار والحمارين إلى غرب الجنوب.



الشكل (5-5) الأخنان العربية

كما تم تقسيم كل خن إلى سبعة أصابع وسموا الإصبع ترفا، وكل أربعة أصابع تسمى "**ذبّان**" وعلى هذا يكون:

الخن = 360 ÷ 32 = 11.25 درجة.

الإصبع = 11.25 ÷ 7 = 1.6 درجة

الذبان = أربع أصابع = 6.4 درجة

إن أصل نظام الأخنان غير معروف لكن متابعة ما كتب عنه في كتب الملاحة العربية تؤكد أن نظام نشأ وتطور في منطقة البحر العربي والمحيط الهندي وذلك يظهر من خلال النجوم المعتمدة كمثابات في شروقها وغروبها، مما يؤكد استقلالية

هذا النظام عن النظم الأوروبية وقد ذكر البحار العربي الماهر ابن ماجد ذلك في كتابه المعروف "**الفوائد في أصول علم البحروالقواعد**".

4- ذات الحلق:



الشكل(5-6) ذات الحلق

وهي من الآلات الفلكية المهمة، وتتألف من سبع حلقات معدنية متداخلة قابلة للدوران حول محاور مختلفة لتمثل حركة الأجرام السماوية حول الأرض، إذ أنها تُعتبر في هذا النموذج مركزاً للكون. وبالإمكان بناء نموذج آخر لآلة ذات الحلق موافقاً لنموذج مركزية الشمس وذلك باستبدال موقع الأرض مع الشمس ورفع حلقة القمر وجعلها حول الأرض.

7- ذات السمت والارتفاع:



الشكل (5-7) ذات السمت

وهذه الآلة اخترعت من قبل علماء الفلك العرب المسلمين وهي عبارة عن نصف حلقة دائرية يتصل بها سطح من سطوح اسطوانة الأضلاع قطرها يساوي قطر الحلق يُعرف بها السمت وزاوية ارتفاع الشمس عن ذلك الوقت.

9- ذات الشعبتين:

وهي ثلاث مساطر مثبتة على كرسي مسطح يتم بها معرفة ارتفاع الجرم السماوي.

11- ذات الربع أو الربعية:



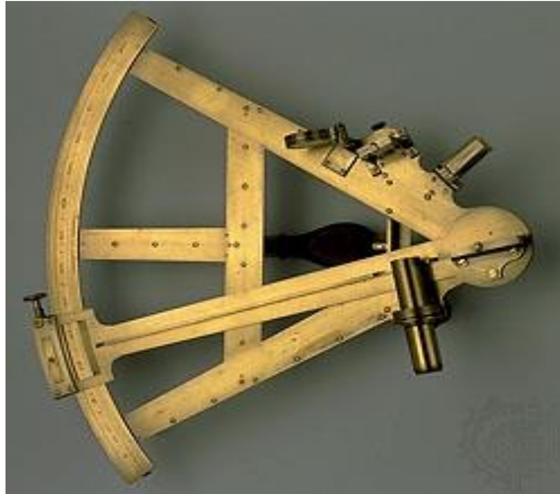
الشكل(5-8) ذات الربع

وهي آلة على شكل ربع دائرة مدرجة بمقياس للدرجات مرسوم على طرف قوسها كما يرسم على القوس أرقام تدل على الوقت أثناء النهار ويرسم على الجزء الوسطي من الربعية خطوط تدل على حركة الشمس والقمر.

تعلق الربعية بشكل رأسي وذلك بواسطة ثقل رصاصي مربوط بخيط وتستخدم كتاب زوايا الارتفاع والانخفاض للأجرام السماوية بدقة. وهنالك أنواع كثيرة من الربعيات.

12- السدسية:

وهي آلة تستخدم لأغراض قياس الزوايا الفلكية ومنها يكن حساب الأحجام



شكل(5-9) السدسية

الزاوية للأجرام السماوية وبالتالي معرفة أبعادها عن طريق حساب اختلاف المنظر.

ظهور التلسكوبات

كان التجار الأوربيون يعرفون الأنبوب الذي يحتوي على قطعتين من الزجاج محدبتين عند طرفيه، واحدة كبيرة ورقيقة توضع في مقدمة الأنبوب والأخرى صغيرة وسميكة ينظرون من خلالها بعيداً ليروا السفن القادمة من عمق البحر. ويُنسب اختراع التلسكوب إلى رجل هولندي إسمه هانس لبرهي (المتوفى 1619) رغم ادعاء رجلين هولنديين آخرين بالحق نفسه.

ولربما كان غاليليو غاليلي الايطالي هو أول من وجه تلسكوبه البسيط إلى السماء بهدف استكشافها. وقد كان تلسكوبه بسيطاًً لا تتعدى كفاءته كفاءة تلسكوب أي هاوٍ معاصر، لكن غاليليو بذلك التلسكوب البسيط زعزع أركان المفاهيم الأرسطية التي كانت سائدة على عصره عن الأرض والسماء. فقد اكتشف غاليليو وجود أربعة أقمار تدور حول كوكب المشتري، كما اكتشف البقع الشمسية واستدل منها على دوران الشمس حول نفسها. كما اكتشف أن لكوكب الزهرة أطوالراً شبيهة بأطوار القمر، كما اكتشف غاليليو بذات التلسكوب حلقات كوكب زحل.



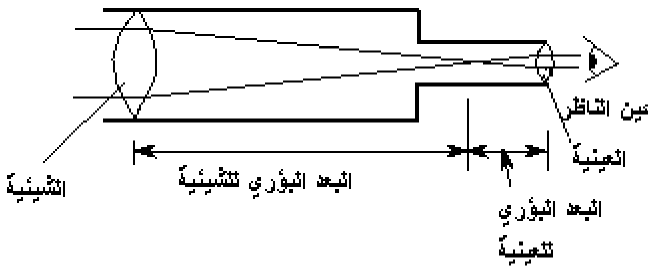
يستطيع الفلكيون بفضل التلسكوبات رصد أجرام لا ترى بالعين المجردة. فعلى الرغم من أن أبصارنا تُعدّ كشافات لا مثيل لها، فإنها تعجز عن رؤية الأجرام الخافتة جداً، كما تعجز عن رؤية التفاصيل الدقيقة للمصادر الضوئية النائية.

فعلى سبيل المثال، إننا أعجز من أن نقرأ صحيفة عادية مثبتة على جدار في حجرة معتمة، على حين تتغلب التلسكوبات على هذه الصعوبات عن طريق تجميع قدر أكبر من الضوء الذي تجمعه العين، وكذلك عن طريق زيادة المقدرة على تمييز

التفاصيل. نسمي الخاصة الأولى **"قدرة التجميع"** Collecting Power، أمّا الخاصة الثانية فتسمى **"قدرة الفصل (التمييز)"** Resolving Power.

التلسكوبات الكاسرة:

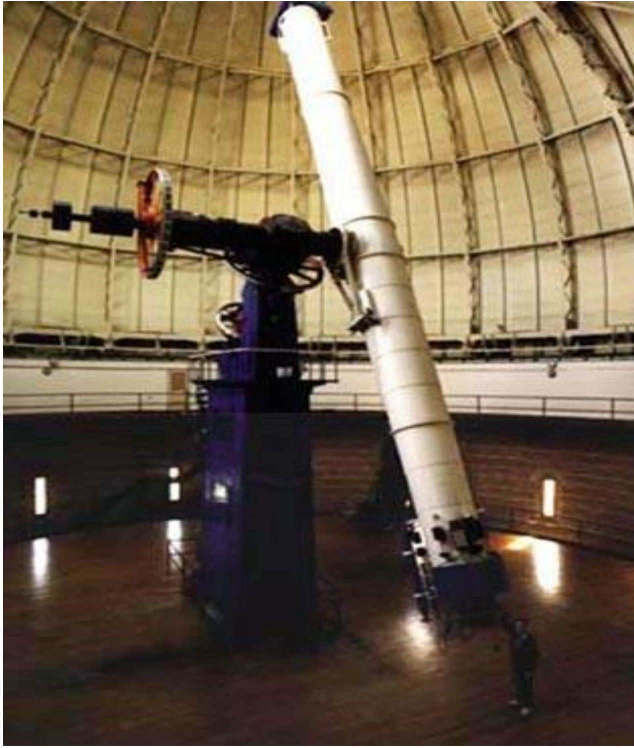
يتألف التلسكوب الكاسر من أنبوب وعدسة في مقدمته تسمى **العدسة الشيئية** Objective لأنها توجه نحو الشيء المراد رصده، وأخرى في مؤخرة الأنبوب تسمى **العدسة العينية** Eye piece ، ينظر من خلالها عبر أنبوب التلسكوب إلى الأشياء. أنظر الشكل(5-11). وسمي هذا التلسكوب كاسراً لأنه يكسر الأشعة الداخلة إليه ويجمعها في نقطة تسمى البؤرة Focus .



الشكل (5−11) التلسكوب العاكس

تعتمد قدرة التلسكوب في تقريب المناظر على الخواص الهندسية للعدسات التي يتألف منها كالبعد البؤري وقطر العدسة. فكلما كان البعد البؤري للعدسة الشيئية كبيراً إستطاع التلسكوب تقريب الأجسام الأبعد. ولكنه كلما قرّب الأجسام الأبعد كلما تطلّب ذلك أن يكون قطر العدسة الشيئية كبيراً وذلك لضرورة توفير أكبر قدر ممكن من الضوء لتوضيح صورة المنظر وإلا فإن الصورة ستبدو معتمة. تكون المسافة بين العدسة الشيئية والعدسة العينية في التلسكوبات الكاسرة متغيرة ويتم ضبطها بحسب بعد المنظر.

للتلسكوبات الكاسرة عيوب أهمها ظهور دوائر لونية تحيط بحدود الأجسام المنظورة وهذا ناتج عن تحلل الضوء الأبيض عند مروره خلال العدسة إلى عناصره اللونية وهذا هو ما يسمى الزيغ اللوني. فضلاً عن هذا فإن ثقل العدسات الكبيرة يجعل تثبيتها صعباً يحتاج إلى نظام اسناد ميكانيكي معقد. لهذه الأسباب وغيرها فقد تم اختراع التلسكوبات العاكسة. يبين الشكل(5-12) صورة لأكبر تلسكوب كاسر في العالم تستعمل فيه عدسة قطرها متر واحد (أي 40 إنشاً) وذلك في جامعة شيكاغو.

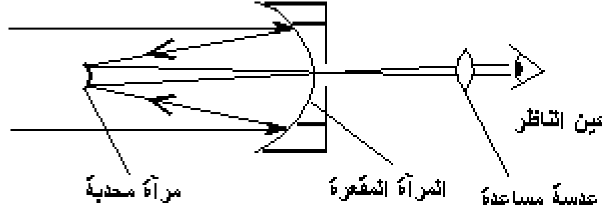


الشكل (5-12) تلسكوب جامعة شيكاغو الكاسر

التلسكوبات العاكسة

تستخدم معظم التلسكوبات الحديثة المرايا بدلاً من العدسات للتخلص من عيوب التلسكوبات الكاسرة. فيتم بوساطة مرآة مقعرة تجميع الضوء ومن ثم

تركيزه في نقطة. وقد تستخدم في هذه النقطة مرآة ثانوية محدبة (أو مقعرة) تعمل على إنعكاس الضوء لرؤيته من قبل الراصد خلال مجموعة عدسية صغيرة. أنظر الشكل(5-13).



الشكل (5-13) التلسكوب العاكس

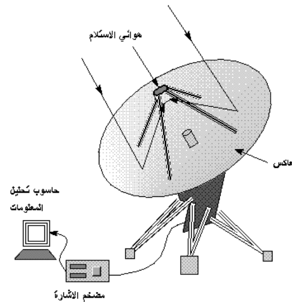
وتصنع المرايا من الزجاج بعد صقله وتلميعه حتى يغدو ذا شكل منحن أملس، ثم يطلى بطبقةٍ رقيقة من الألمنيوم أو بعض المواد العاكسة جيداً للضوء.

تتمفصل معظم التلسكوبات حول محاور استناد متينة، تسمح بمتابعة الأجرام السماوية إبان حركتها في كبد السماء. وتجدر الإشارة إلى أن تحريك أطنان عديدة من المعدن والزجاج بدقة عالية يتطلب عناية فائقة في الإنشاء والتصميم، ناهيك أنه يجب أن تحافظ العدسات والمرايا على شكلها الدقيق دون أن يعتريها أي تشوّه أو انزياح عن مواضعها النسبية، وذلك للحصول على أخيلة صافية وغير مشوهة. يشكل هذا الأمر العقبة الرئيسية في بناء تلسكوب كبير، ذلك أن المرايا والعدسات الكبيرة يعتريها الانحناء والتشوّه لدى انزياحها عن أماكنها. لكن ثمة طريقة للتغلب على هذه الصعوبة في التلسكوبات العاكسة تتمثل في استعمال عدة مرايا صغيرة لتجميع الضوء وتركيزه وضبط كل مرآة منها على حدة. فبدلاً من استخدام تلسكوب بمرآة كبيرة واحدة تستخدم عدة مرايا صغيرة. تسمى التلسكوبات العاكسة من هذا النوع التلسكوبات العاكسة المتعددة المرايا (Multi-Mirror Telescope). وأحدها مثبت على قمة جبلية في جنوب أريزونا، وتستخدم

فيه ست مرايا قطر كل منها 1.8 متراً (أي 72 إنشاً) فتعمل بذلك عمل تلسكوب عاكس ذي مرآة وحيدة قطرها 4.5 متراً (أي 176 إنشاً). وتضبط اتجاهات هذه المرايا الست بفضل منبع ليزري يقيس ميلان كل مرآة وموضعها بدقة فائقة. فإذا حصل أي خلل في توضع إحدى المرايا جرى ضبط الأمور آلياً بحيث يكون الصورة الناتج عن المرايا الست في أوضح صورة له.

التلسكوبات الراديوية

نسمي ضوءاً مرئياً تلك الأطوال الموجية التي تتحسس بها أبصارنا، وهي ليست إلا شكل من أشكال **الإشعاع الكهرومغناطيسي**. إلا أن الكثير من الأجرام الفلكية يبث أمواجاً لا تتحسس بها أبصارنا، ولذلك فقد ابتكر الفلكيون وسائل لرصد أمثال تلك الأجرام. فالسحب الغازية الباردة في الفضاء البينجمي مثلاً لا تُصدر إلا القليل من الضوء المرئي، في حين أنها تثبت قدراً هائلاً من الأمواج الراديوية، وهي الأمواج التي نستمع بواسطتها إلى المذياع ونرى الصور على شاشة التلفزيون. وقد تم معرفة هذه الأمواج في القرن التاسع عشر وتم تطوير استخداماتها بشكل واسع في القرن العشرين. ولما عرف الفلكيون أن هنالك أجراماً سماوية تبعث مثل هذه الأمواج إتجهوا إلى تطوير ما يعرف الآن التلسكوبات الراديوية وصار الفلكيون يستخدمونها على نطاق واسع نظراً لسعة النطاق الراديوي في الطيف الكهرومغناطيسي مقارنة مع النطاق المرئي من هذا الطيف.



الشكل (5–14) التلسكوب الراديوي

توجد في العالم تلسكوبات راديوية ضخمة، بل توجد الآن شبكات عظيمة من هذه التلسكوبات تستخدم لرصد الاشارات القادمة من المجرات البعيدة وعلى نطاق واسع من الأطوال الموجية. ويُظهر الشكل (5-15) أهم هذه الشبكات العالمية.



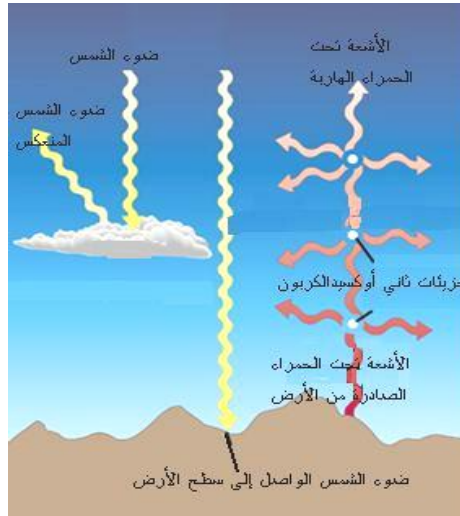
الشكل (5–15) حقل من التلسكوبات الراديوية

تلسكوبات الأشعة تحت الحمراء والسينية

وبالمثل فسُحب الغبار في الفضاء باردة جداً بحيث تعجز عن إصدار ضوء مرئي، إلا أنها تشع طاقة على هيئة أشعة تحت حمراء، يرصدها الفلكيون بتلسكوبات الأشعة السينية لرصد الغازات الحارة التي تتراكم حول الثقوب السوداء. إن الغاية من استخدام تلسكوبات الأشعة تحت الحمراء والتلسكوبات الراديوية وتلسكوبات الأشعة السينية مماثلة للغاية المرجوة من التلسكوبات البصرية ألا وهي تجميع الإشعاعات وكشف التفاصيل. وتُستعمل تقنية الألوان الزائفة على نطاق واسع لإظهار نتائج الرصد بالأطوال الموجية غير المرئية. ويستعمل الفلكيون اللون الأحمر للدلالة على المناطق الأشد إصداراً للأمواج الراديوية،

ويستعملون اللون الأصفر للدلالة على المناطق الأقل إشعاعاً، أمّا المناطق خافتة الإصدار الراديوي فيستعملون لإظهارها اللون الأزرق. فلو استطعنا رؤية الأمواج الراديوية لبدت لنا المناطق الملونة بالأحمر أشد المناطق سطوعا ، أمّا المناطق الملونة بالأزرق فتكون أقلها سطوعاً. ويمكن تطبيق تقنية مماثلة لإظهار الأجرام السماوية التي تبث إشعاعات عند أطوال موجية أخرى.

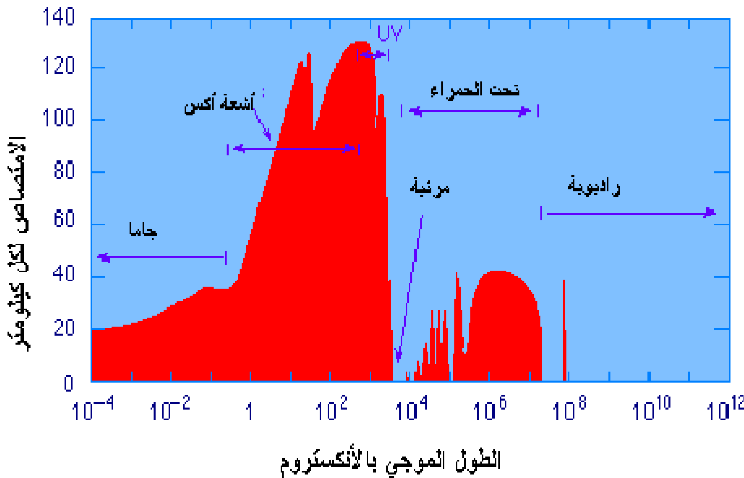
تواجه التلسكوبات التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء، أو الأشعة فوق البنفسجية، أو الأشعة السينية عائقاً آخر: فمعظم الإشعاع الذي تبحث عنه هذه التلسكوبات لا يتمكن من اختراق الغلاف الجوي الأرضي، فالغازات في الغلاف الجوي الأرضي كالأوزون وثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء تمتص الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والأطوال الموجية القصيرة. على سبيل المثال يمتص بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون امتصاصاً كاملاً تقريباً الإشعاع تحت الأحمر ذا الطول الموجي 50 ميكرومتراً. ومع هذا فإن بعضاً من الإشعاع تحت الأحمر يخترق الغلاف الجوي من مناطق ضيقة في الأطوال الموجية تعرف باسم **النوافذ الجوية** Atmospheric windows.



الشكل (5-16) امتصاص وتشتت الأشعة تحت الحمراء

النوافذ الطيفية الجوية

من المعروف أن الغلاف الجوي للأرض يمتص قدراً كبيراً من الأشعاعات الكهرومغناطيسية التي تمر من خلاله. ويعتمد مقدار الامتصاص على الطول الموجي للإشعاع كما يعتمد أيضاً على الإرتفاع عن سطح الأرض. ويوضح الشكل (5-35) هذه العلاقة بين الطول الموجي ومقدار الامتصاص لنصف الشدة لكل كيلومتر من الارتفاع في جو الأرض. ويلاحظ أن هنالك أطوال موجية معينة يكون عندها الامتصاص قليلاً، أي أن الاشعاعات عند هذه الأطوال الموجية تكون ذات نفاذية عالية. تسمى هذه الأنطقة الموجية **النوافذ الجوية** Atmospheric Windows. ويقوم مصمموا الأجهزة والمجسات الطيفية بمراعات هذه النوافذ الجوية. يلاحظ أن معظم اشعاعات اكس وجاما والأشعة الفوق بنفسجية والتي هي اشاعات مضرة بالحياة عى سطح الأرض، يتم امتصاصها في طبقات الجو مما يحول دون وصولها إلى الأرض والحاق الضرر بالحياة التي عليها. ولهذا السبب ذاته يحتاج الفلكيون إلى ارسال المراصد الفلكية التي تتحرى الكشف عن الاشعاعات القصيرة إلى الفضاء. مثال ذلك تلسكوب جاندرا لتحسس أشعة إكس.



الشكل(5-17) النوافذ الجوية

وهكذا فالإشعاع الذي يقع طول موجته بين 8 و 15 ميكرومتراً لا يحدث له امتصاص شديد. فإذا رغب الفلكيون في رصد الأجرام السماوية عند الأطوال الموجية المحتجزة بفعل الغلاف الجوي الأرضي فما عليهم إلا اللجوء إلى وضع تلسكوب في الفضاء بحيث يتم التحكم فيه من على سطح الأرض.

التلسكوبات الفضائية

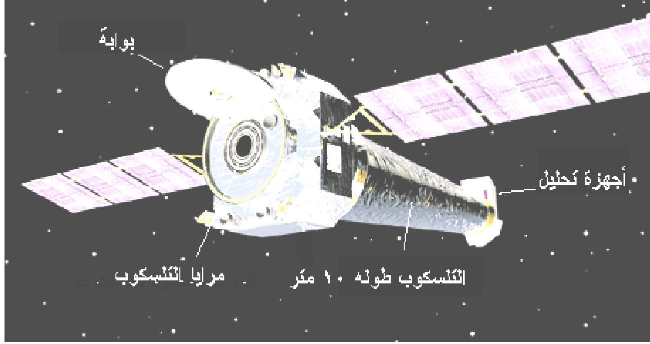
هنالك عدد من المراصد الفلكية تدور حول الأرض لخدمة الفلكيين، وقد مضى على بعضها عشرات السنين. فقد أُطلق القمر الصُّنعى وعلى متنه تلسكوب الأشعة فوق البنفسجية الدولي IUE عام 1978، وما زال يقوم بمهمته خير قيام. أمّا التلسكوبات الأخرى فهي أقصر عمراً؛ فالقمر الصنعي IRAS الذي خُصص لرصد الأشعة تحت الحمراء التي تعجز عن اختراق الغلاف الجوي الأرضي، يتطلب الهليوم السائل للحفاظ على تجهيزاته باردة لتحقيق الحساسية العظمى. وقد بُني بالتعاون بين الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا وهولندا. قام هذا القمر بالتحليق لمدة طويلة وزودنا بصور رائعة لسُحب الغاز والغبار في الفضاء، واكتشف ظواهر تدل على تكون النجوم في مجرات نائية لم يكن الفلكيون يحلمون بالحصول عليها قبل إطلاقه. يشار هنا إلى أن الكثير من صور هذا الكتاب قد التقطها القمر الصنعي IRAS. على أي حال فإن IRAS الآن في سبات عميق بعد أن استنفد محلول التبريد المؤلف من الهليوم السائل. وقد يأتي يوم يعاد فيه إمداده من جديد بوساطة مركبة فضائية، وعندها سيتابع مهمات جديدة. وفي هذه الأثناء يجري رصد مناطق من الأطوال الموجية لا يمكن أن ترصد من الأرض، مثل جزء الطيف الكهرومغناطيسي الواقع في منطقة الأشعة السينية.

يقوم الأوزون والأكسجين في الغلاف الجوي الأرضي بامتصاص الأشعة السينية. ولرصد منابع الأشعة السينية الكونية تولى فريق من الفلكيين في ألمانيا وبريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية إطلاق قمر رونتجن . سات ROSAT لرصد

الأشعة السينية، والذي سمي نسبة إلى الفيزيائي الألماني رونتجن مكتشف هذه الأشعة. سيقوم ROSAT بمسح السماء باحثاً عن منابع الأشعة السينية كالنجوم المتفجرة ودراستها، إضافة إلى رسم خرائط لمنابع الأشعة السينية فيها. ويعد ROSAT أحدث مرصد فلكي أُطلق للبحث عن الأشعة السينية، ومن بين مراصد أخرى أصغر منه أطلقتها -للغاية نفسها- دول كثيرة من مثل بريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان.

يعد تلسكوب هابل الفضائي (HST) حتى الآن أكثر التلسكوبات الفضائية طموحاً على الإطلاق من بين التلسكوبات الكثيرة التي تدور حول الأرض؛ فقد صُمم للرصد في المجال المرئي وفي مجال الأشعة فوق البنفسجية. ويبلغ قطر مرآته 2.4 متراً (أي حوالي 94 إنشاً) وهو يوجه الضوء الذي يجمعه إلى جملة أجهزة قياس. ويشتمل على آلتي تصوير الكترونيتين خصصت إحداهما لالتقاط صور للمجالات الشاملة الإجمالية، والأخرى لالتقاط الصور الفضائية الكبيرة المقياس، وقد أرسل حتى الآن صوراً مبهرة حقاً. ويحمل تلسكوب هابل مقياسين للتحليل الطيفي لتحليل الضوء الوارد من النجوم والمجرات، ومقياساً للشدة الضوئية (فوتومتر) لأخذ قياسات دقيقة لسطوع النجوم ذات الخرج الضوئي المتغير.

ومع أن تلسكوب هبل قد تعرض في بادئ الأمر لعدة مشاكل، وعلى الرغم من بعض التشوهات التي سببتها مرآة التلسكوب القاصرة، فقد تمكن تلسكوب هبل الفضائي من التقاط صور من الفضاء كشفت النقاب عن تفاصيل كانت خفية على التلسكوبات المنتشرة على سطح الأرض بسبب ضبابية الغلاف الجوي الأرضي. أمّا وقد أصلح رواد الفضاء الخلل في مرآة تلسكوب هبل فإن بإمكاننا التقاط صور أشد وضوحاً وأكثر دقة للأجرام الأكثر بعداً.



الشكل (5-18) تلسكوب شاندرا الفضائي

مقارنة بين المراصد الفضائية والمراصد الأرضية

من المؤكد أن التلسكوبات الفضائية قد دشنت عهداً جديداً في علم الفلك. وسيتم في المستقبل المنظور تطوير تلسكوبات فضائية جديدة توضع في مدارات حول الأرض لتقوم برصد الفضاء وتمدنا بالمعلومات عنه. ومن المفيد معرفة ما يلي:

1. إن التلسكوبات الفضائية هي أكثر كفاءة من التلسكوبات الأخرى.
2. لكن التلسكوبات الفضائية أكثر كلفة من التلسكوبات الأخرى.
3. تتطلب التلسكوبات الفضائية تقنيات فضائية لوضعها في مداراتها. ولذلك فإن تعرضها لمخاطر الفضاء يجعلها عرضة للعطب والخلل.
4. يتطلب تصليح التلسكوب الفضائي توفير كادر صيانة فضائي وهذا أمر مكلف جداً.
5. ولهذه الأسباب تكون أعمار التلسكوبات الفضائية قصيرة (بضع سنوات) فيما تكون التلسكوبات الأرضية قادرة على العمل لعشرات السنين.

الضوء والاشعاع

الدراسات الطيفية

الضوء والإشعاعات الكهرومغناطيسية هي الوسيلة الوحيدة التي تصلنا مع العالم الخارجي فبواسطة الضوء وبقية الإشعاعات الكهرومغناطيسية الواصلة إلى الأرض تمكن الناس من معرفة الكثير عن الأجرام السماوية. أحجامها، أبعادها، حركاتها، حرارتها، تركيبها الكيمياوي.

الطيف الكهرومغناطيسي:

بحسب النظرية الموجية يتألف الضوء (وكافة الإشعاعات الكهرومغناطيسية) من اضطراب مجالين متعامدين على بعضهما: أحدهما مجال كهربائي والآخر مجال مغناطيسي.

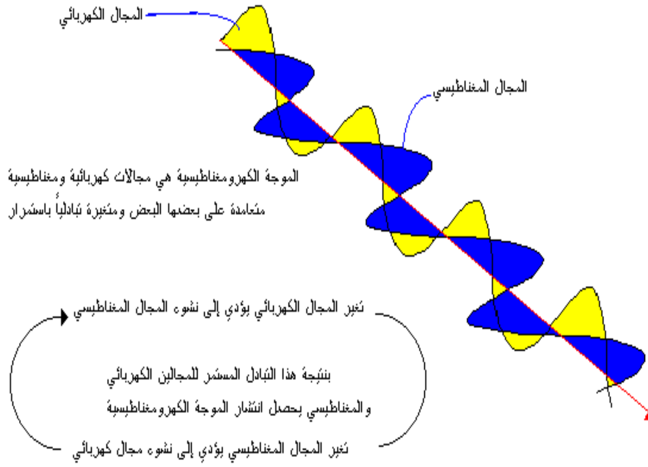
وقد برهن ماكسويل أن اضطراب المجال المغناطيسي بصورة دورية يولد مجالاً كهربائياً متعامداً عليه والعكس صحيح أيضاً.

إن للموجة الكهرومغناطيسية ثلاث متغيرات أساسية هي: طول الموجة وترددها وسعتها.

إن **طول الموجة**: هو المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين للموجة وتقاس عادةً بوحدات الانجستروم ويعدل 10^{-8}سم أو بالنانومتر ويعدل 10^{-7} سم أو بالمايكرومتر ويعدل 10^{-4}سم.

أما **تردد الموجة:** فهو عدد القمم أو القيعان المارة من نقطة معينة في الثانية الواحدة. وتقاس بوحدات مقلوب الزمن أي ثا$^{-1}$ وهو الهرتز Hertz.

أمَّا **سعة الموجة**: فهي الإزاحة العظمى للمجال (الكهربائي أو المغناطيسي).



الشكل (5−19) المجال الكهرومغناطيسي

يرتبط طول الموجة وترددها وسرعتها بعلاقة واحدة تجمعهم. أمَّا سرعة الموجات الكهرومغناطيسية فهي واحدة مهما اختلفت تردداتها أو أطوالها أو سعاتها، ومقدارها بالتقريب 300000 كيلومتر في الثانية أي 3×10^8 متر/ثا. وهذه هي نفسها سرعة الضوء.

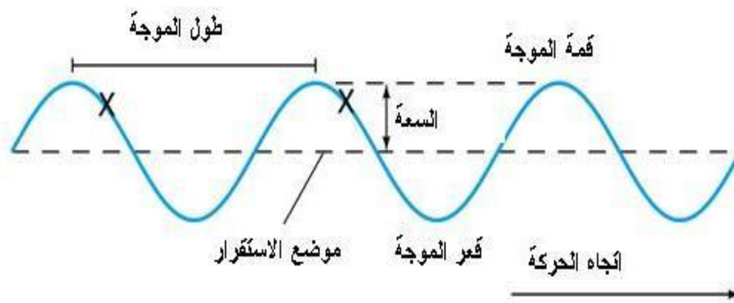
سرعة الموجة = طول الموجة × التردد

وبالرموز نكتب:

$$c = \lambda \nu$$

حيث أن c هي سرعة الموجة و λ هو طولها و ν هو ترددها.

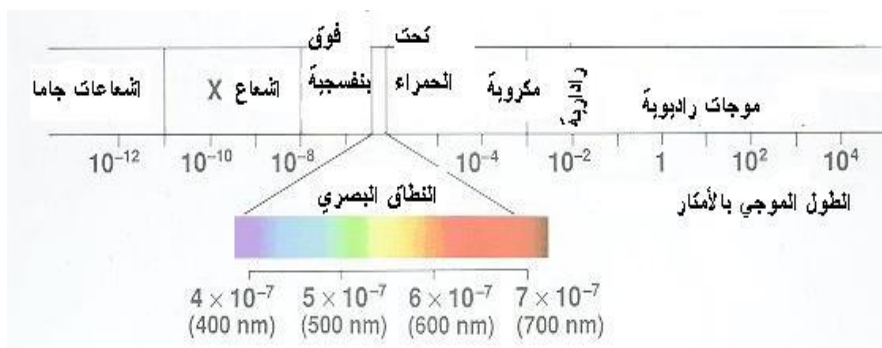
نلاحظ أنه إذا ازداد الطول الموجي قل تردد الموجة والعكس صحيح حتى تكون c ثابتة لجميع الترددات والأطوال الموجية كما ذكرنا.



الشكل(5-20) الشكل المثالي للموجة الجيبية

تصنيف الطيف الكهرومغناطيسي

نظرياً يمكن للموجة الكهرومغناطيسية أن تكون بأي طول كان من الصفر إلى المالانهاية. (وكذا الحال بالطبع بالنسبة إلى تردد الموجة). إلا أن الأمواج الكهرومغناطيسية المعروفة تتوزع على مدى محدد من الأطوال) الموجبة (والترددات) تتراوح ما بين 100كيلومتر لأطولها و10^{-5} أنجستروم لأقصرها وقد تم تقسيم هذا الطيف الواسع إلى أنطقة معرفة لها خواص معلومة مميزة وكما يلي:



الشكل (5-21) الطيف الكهرومغناطيسي

- أشعة جاما (10^{-5}–0.1) أنجستروم.
- أشعة أكس (0.1–100) أنجستروم.

- أشعة فوق بنفسجية (100–2000) أنجستروم.
- الأشعة المرئية (4000–7000) أنجستروم.
- الأشعة تحت الحمراء (1000 – 1mm).
- أشعة المايكروويف (1mm–10cm).
- الأشعة الراديوية أكثر من10cm.

يتضح من هذا ضيق نطاق الأشعة المرئية إذ أنها لا تشكل إلا مساحة ضيقة جداً على الطيف الكهرومغناطيسي الواسع، أنظر الشكل (5–21).

التركيب الذري والأطياف

خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر وجد الكيميائيون أن المواد يمكن تقسيمها إلى عناصر ومركبات. فالعناصر هي عوامل أساسية لا يمكن اختزالها إلى ما هو أبسط منها (أنظر الجدول الدوري للعناصر الطبيعية). وفي الطبيعة يتوفر 92 عنصراً طبيعياً أبسطها هو عنصر الهيدروجين H ثم الهيليوم He وهكذا.وأغلب المواد التي نتعامل معها في حياتنا اليومية هي ليست العناصر الأساسية بل هي مركبات مؤلفة من هذه العناصر. فالماء هو مركب من عنصري الهيدروجين والأكسجين والجزئية هي أبسط وحدة بناية للمركب، وفيها تتحقق الصفات التي للمركب نفسه. أما الذرة فهي العنصر الأولي الذي يحمل خواص العنصر.. وتتألف المركبات باجتماع الذرات وتألفها بالأوامر لتكوين الجزيئات التي هي الوحدات الأساسية للمركب.

النموذج الذري

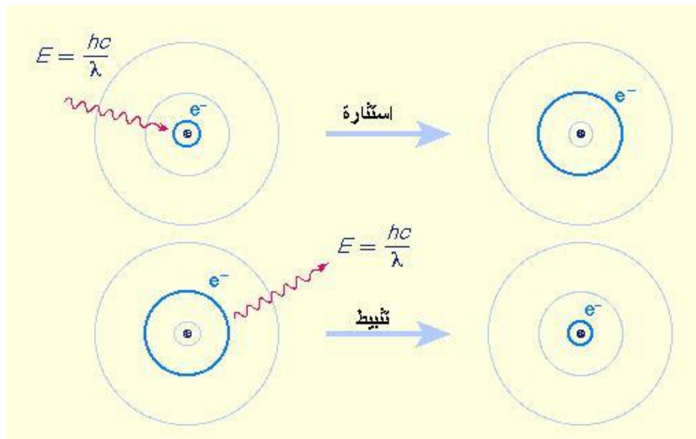
في بداية القرن العشرين تمكن الفيزيائيون من كشف أسرار الذرات فبعد أن كانت الذرة في مفاهيم القرن التاسع عشر كرة مصمتة غير قابلة للانقسام تبين أنها مؤلفة من شحنة موجبة وشحنات سالبة (الإلكترونات) وقد وضع ثمسون نموذجاً

ذرياً يجعل الشحنة الموجبة كلاً مجتمعاً في حيز قطره بحدود 10^{-8} cm هو النواة تنغرز فيه الإلكترونات يساوي مجموع مقدار الشحنة الموجبة التي في النواة. وكيما يتم التحقيق من حجم النواة الموجبة قام اللورد رذرفورد بتجربته الشهيرة مسلطاً سيلاً من الجسيمات الموجبة الشحنة وهي المعروفة بجسيمات ألفا على صفيحة رقيقة جداً على الذهب. فكانت النتيجة أن عدداً كبيراً من جسيمات ألفا استطار في اتجاهات مختلفة في توزيع زاوي يوحي أن حجم الجزء الموجب من الذرة صغير جداً .. وقد تبين من خلال التحليلات التي تلت التجربة أن الجزء الموجب في الذرة يحتل حيزاً قطره لا يتجاوز 10^{-12}cm. أي 1/10000 من قطر الذرة. وبدلالة الحجم يعني هذا أن حجم الجزء الموجب هو جزء من مليون مليون جزء من حجم الذرة.

فرضية بلانك: من أجل أن يتمكن ماكس بلانك من تفسير تصرف الإشعاع الحراري علة مدى الأطوال الموجية المختلفة إفترض أن الإشعاع يتألف من رزم كمومية لكل منها طاقة مقدارها

$$E = h\nu$$

حيث أن h هو مقدار ثابت سمي ثابت بلانك و ν هو تردد الإشعاع. وقد أعم ألبرت أينشتاين هذه العلاقة لتشمل الضوء المرئي وغيره.



الشكل (5–22)

إن انتقال الإلكترون من مدار لآخر حول النواة يغير من طاقته الميكانيكية الكلية. ولما كانت هذه الطاقة تتوزع على مقادير مخصوصة تتناسب مع المدارات المخصوصة للإلكترون، فإن كمية الطاقة التي يمتصها الإلكترون في حالة انتقاله إلى مدار أعلى والطاقات التي يبعثها عند انتقاله إلى مدارات أدنى تكون قيماً مخصوصة عادة ولا تكون طيفاً مستمراً بل هي على الحقيقة خطوط طيفية محددة يُعرّفها مقدار الفرق بين طاقة الإلكترون في المدار الذي انتقل منه والمدار الذي انتقل إليه. وهذه القيمة تحددها العلاقة

$$E_f - E_i = \Delta E = hcR\left(\frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i}\right)$$

هذه الطاقة هي بالضبط طاقة الفوتون الذي يتم امتصاصه أو بعثه من الذرة. حيث أن

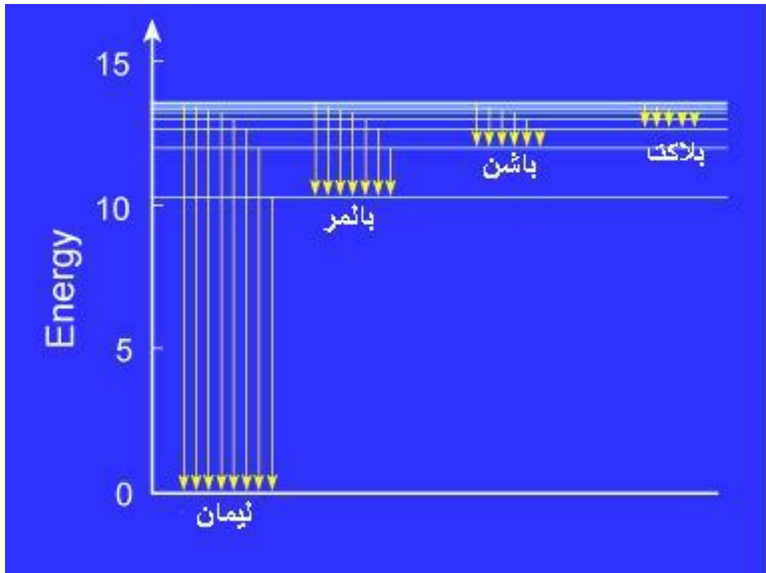
$R = 1.097\times10^{7} m^{-1}$ هو ثابت ريدبرج. n_i هو المستوى الأعلى و n_f هو المستوي الأدنى

وباستخدام فرضية بلانك نجد أن تردد المنبعث هو

$$\nu = cR\left(\frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i}\right)$$

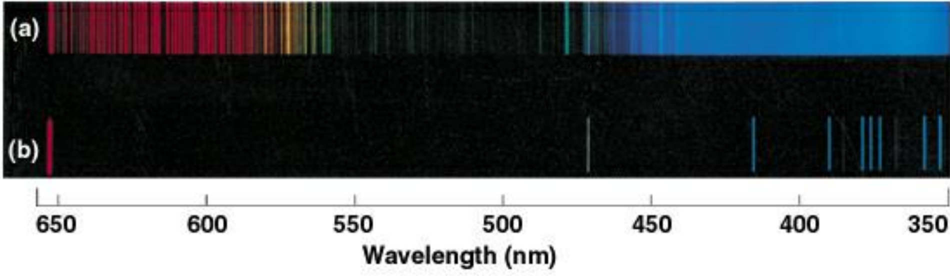
وبدلالة الطول الموجي للضوء المنبعث يكون

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i}\right)$$



الشكل (5-23) السلاسل الطيفية

وهكذا تتضح الصورة أمامنا الآن ونفهم منشأ السلاسل التي في الشكل (5-23) إذ أن انتقال الإلكترون من أي مدار إلى المدار الأول أي الذي له $n=1$ سيؤدي إلى انبعاث عدة أطوال موجبة والمجموعة المؤلفة من هذه الأطوال الموجبة تسمى سلسلة لأيمان.. أما انتقال الإلكترون من أي مدار إلى المدار الثاني أي الذي له $n=2$ فإنه سيؤدي إلى انبعاث عدة أطوال موجية أيضاً تؤلف سلسلة تختلف عن الأولى وهذه تسمى سلسلة بالمر.. وهكذا فإن مستقر سلسلة باشن هو المدار الذي له $n=3$ ومستقر سلسلة بلاكت هو $n=4$. ويرمز إلى الخطوط الطيفية المختلفة في كل سلسلة بالحروف اليونانية... $\alpha\beta\gamma$ فيسمى الخط الأول منها α والثاني β والثالث γ وهكذا.



الشكل (5-24) طيف ذرة الهيدروجين

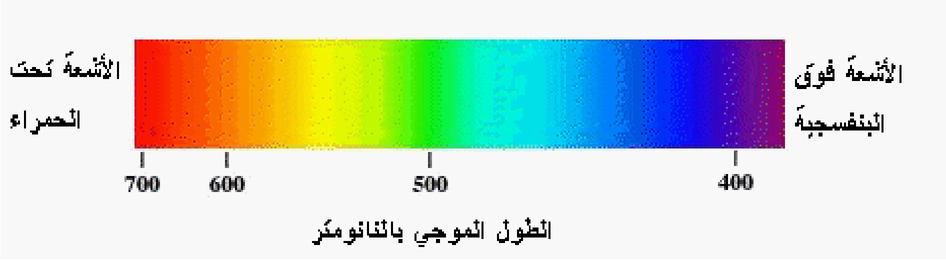


الشكل (5-26) طيف الهيليوم

المطياف **Spectrometer:**

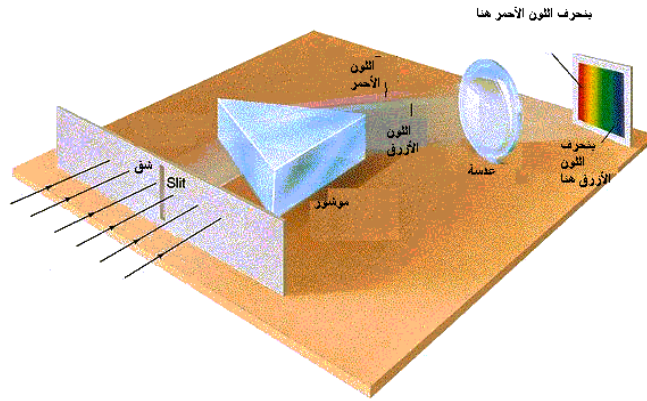
يتألف الضوء المنبعث عن الأجسام الساخنة من مختلف الأطوال الموجية ويمكن تفريق الأطوال الموجية التي تقع ضمن النطاق المرئي إلى مركباتها باستخدام المطياف.

ويتألف المطياف البسيط من ثلاثة أجزاء رئيسية وهي: **المسدد والموشور** أو محزز الحيود (وهو شريحة زجاجية حفرت عليها أخاديد مستقيمة متوازية بمسافات صغيرة جداً بينها). **وتلسكوب بسيط**، انظر الشكل (5-28) حيث يقوم المسدد بتجميع الضوء المنبعث عن المصدر وتسديده إلى الموشور (أو محزز الحيود) الذي يقوم بدوره بتحليل الضوء إلى عناصره التي يتألف منها، وذلك بكسرها بزوايا مختلفة تتناسب مع أطوالها الموجية (أو تردداتها).



الشكل (5–27) الطيف المرئي

ولغرض رؤية الطيف الخارج من الموشور (أو محرز الحيود) فإن من الضروري استخدام تلسكوب بسيط يعمل على تمييز عناصر الطيف وتقريبها لنتمكن من رؤيتها بوضوح وفي العادة يكون الضوء المرئي مؤلفاً من ترددات كثيرة جداً تؤلف طيفاً مستمراً إلا أن بالإمكان تمييز سبعة أنطقة بسبعة ألوان هي ألوان الطيف المعروفة: الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي.



شكل (5-28) المطياف البسيط

أنواع الطيف

1. الطيف المستمر Continuous Spectrum

ويظهر كنطاق واسع من الألوان المختلفة من الأحمر حتى البنفسجي متصلة ببعضها. ويمكن إنتاج هذا النوع من الأطياف بتسخين المواد الصلبة السائلة والغازية تحت ضغوط وكثافات عالية.

2. الطيف الخطي البرّاق Bright–Line Spectrum

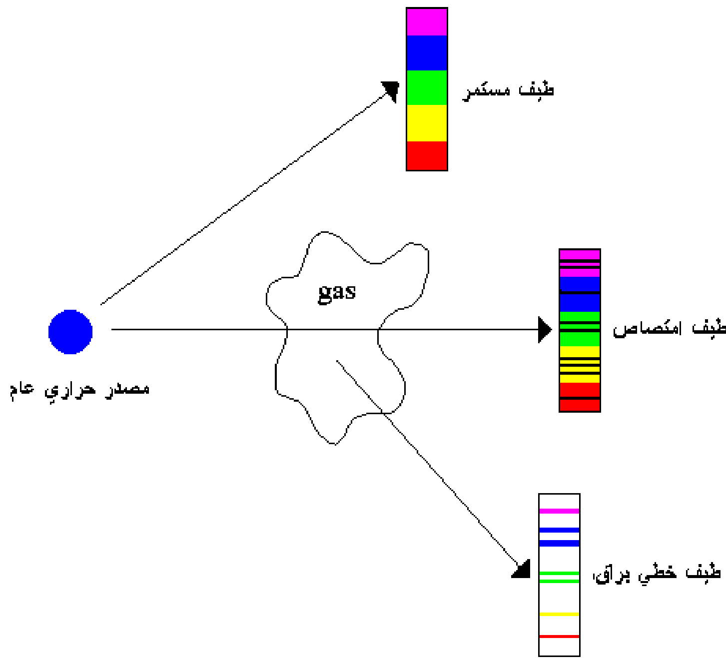
ويظهر كخطوط براقة ساطعة عند مواقع معينة وعلى خلفية مظلمة تماماً وينتج هذا النوع من الطيف عند تسخين الغازات تحت ضغط منخفض. ويمكن إنتاجه أيضاً في الأنابيب التي تحتوي على غازات بضغوط مختلفة وتحت فروق جهد كهربائية عالية.

إن الطيف الخطي الساطع يعكس مكونات الغاز، ولكل غاز طيف معين يمثل "**البصمة** Signature" التي يمكن بها التعرف على وجود الغاز في خليط من الغازات.

3. الطيف الخطي المعتم Dark–Line Spectrum

وهو طيف امتصاص يتم عند مرور الضوء خلال الغازات الباردة عند ضغوط منخفضة. فعند تمرير ضوء الشمس الاعتيادي خلال بخار الصوديوم البارد نسبياً يظهر خطان معتمان أحدهما عند $\lambda_1=5896A^\circ$ والآخر عند $\lambda_2=5890A^\circ$.

وعند هذه المواقع بالضبط تظهر خطوط صفراء براقة عند حرق ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) على مصباح بنزن. مما يعني أن ملح الطعام يُظهر خطي انبعاث للصوديوم عند حرقه ويُظهر خطي امتصاص عند الموقعين نفسيهما عند مرور الضوء الاعتيادي خلال بخاره البارد.



الشكل (5−29) أنواع الطيف وكيفية تولدها

قانون فين : Wein's Law

لو أننا سخنا أية مادة فلزية فوق لهب قوي ومباشر فإننا سنرى أن المادة تصبح حمراء، ثمّ إذا ما زادت حرارتها أكثر أصبحت صفراء، ثمّ إذا زادت حرارتها أكثر أصبحت زرقاء داكنة، هذه الحالات يعبر عنها قانون فين Wein الذي يقرر

" يتناسب الطول الموجي عند الطاقة العظمى المنبعثة عن جسم ساخن عكسياً مع درجة حرارة الجسم".

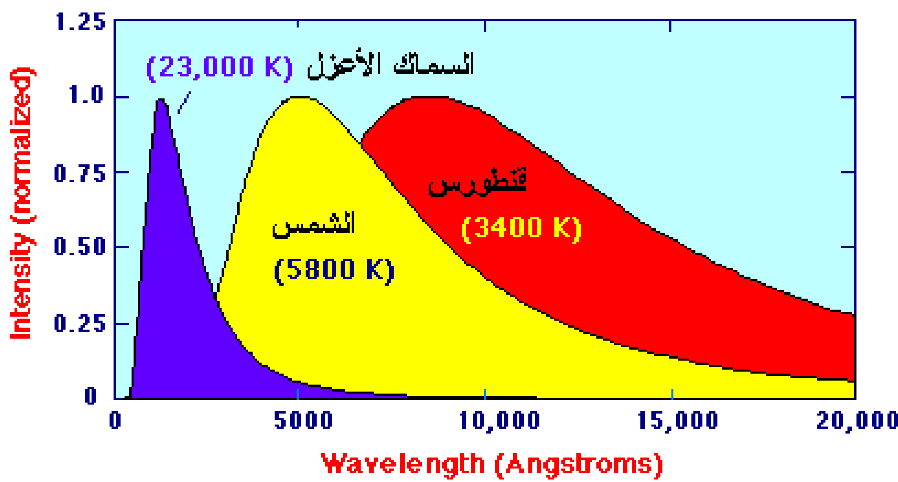
أي

$$\lambda_{\max} = \frac{0.29}{T} cm$$

$$= \frac{290 \times 10^{5}}{T} A$$

حيث أن T هي درجة حرارة الجسم بوحدات كلفن و λ_{max} الطول الموجي الذي تنبعث عنده أقصى طاقة.

ويعني هذا القانون أن لون الجسم الساخن يعتمد على درجة حرارته. وعلى حين يحتوي طيف الإشعاعات الصادرة عن الجسم الساخن على كافة الأطوال الموجبة الممكنة إلا أن اكبر طاقة منبعثة في وحدة الزمن تكون عند طول موجي معين، وهذا الطول الموجي نفسه هو الذي يحدد لون الجسم الساخن.



الشكل (5−30) قانون فين

هذه الخاصية وهذا القانون له تطبيق مباشر في معرفة درجة حرارة النجوم إذ يمكن بمعرفة الطول الموجي λ_{max} عن طريق التحليل الطيفي حساب درجة حرارة النجم، أنظر الشكل (5-30).

قانون ستيفان – بولتزمان:

يبحث هذا القانون صفة أخرى من صفات الأجسام الساخنة إذ يقدم لنا العلاقة بين الطاقة الكلية المنبعثة من الجسم الساخن على مختلف الأطوال الموجية ودرجة حرارة الجسم.

يقرر قانون ستيفان - بولتزمان أن الطاقة الكلية المنبعثة من جسم ساخن درجة حرارته T في الثانية الواحدة لكل وحدة مساحة هي:

$$U_{tot}=\sigma T^4$$

حيث σ هي ثابت ستيفان وقيمته $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ K^{-4}.\ m^{-2}.\ s^{-1}$

وإذا كان الجسم كروياً كما هي الحالة التقريبية للنجوم فإن الطاقة السطحية للنجم ستكون $4\pi R^2$، لذا فإن الطاقة الكلية المنبعثة في وحدة الزمن من الجسم الكروي (النجم) ستكون:

$$L = 4\pi R^2\ U_{tot}.$$

$$= 4\pi\sigma\ R^2 T^4$$

تسمى هذه الكمية **نورانية الجسم** Luminosity. وهي في حقيقتها القدرة.

أما السطوع Brightness فهو مقدار الطاقة الكلية الواصلة الى المشاهد على مسافة d من الضوء مصدر وتساوي مقدار السطوع مقسوماً على مربع المسافة

$$B=L/d^2$$

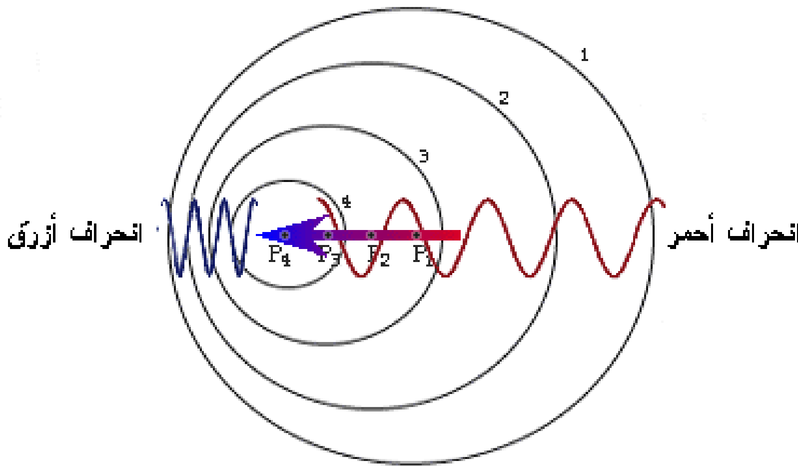
حرارة الجسم (K)	الطاقة (eV)	الطول الموجي(سم)	النطاق
< 0.03	$< 10^{-5}$	> 10	راديوي
0.03 – 30	$10^{-5} - 0.01$	10 – 0.01	مايكرويف
30 – 4100	0.01 – 2	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	تحت الأحمر

مرئي	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	2 − 3	4100 − 7300
فوق بنفسجي	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$3 - 10^{3}$	$7300 - 3 \times 10^{6}$
أشعة اكس	$10^{-7} - 10^{-9}$	$10^{3} - 10^{5}$	$3 \times 10^{6} - 3 \times 10^{8}$
أشعة جاما	$< 10^{-9}$	$> 10^{5}$	$> 3 \times 10^{8}$

جدول **(5-1)** درجة الحرارة والطول الموجي للضوء المنبعث

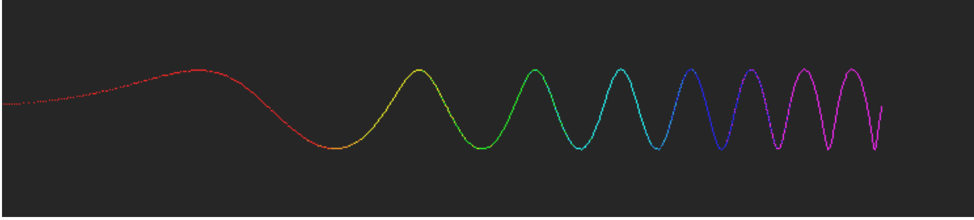
ظاهرة دوبلر

لوحظ أن تردد الأمواج الضوئية (والصوتية أيضاً) الواصلة إلى مستقبل يزداد عندما يكون المصدر مقترباً من المشاهد. فيما وجد أن التردد يقل عندما يكون المصدر مبتعداً عن المشاهد. وقد سميت هذه الظاهرة بتأثير أو **ظاهرة دوبلر**.



الشكل (5−31) ظاهرة دوبلر

وبدلالة الطول الموجي يعني هذا أن الطول الموجي لمصدر ضوئي مقترب من المشاهد (الكاشف) يزداد بينما يقل الطول الموجي الذي يستلمه المشاهد عندما يكون المصدر مبتعداً عنه. وتنطبق هذه الظاهرة على جميع الاشعاعات الكهرومغناطيسية والصوتية أيضاً.



الشكل (5−32) ظاهرة دوبلر

إن مقدار الفرق في الطول الموجي يتناسب طردياً مع سرعة الجسم. ويقرر قانون دوبلر أن:

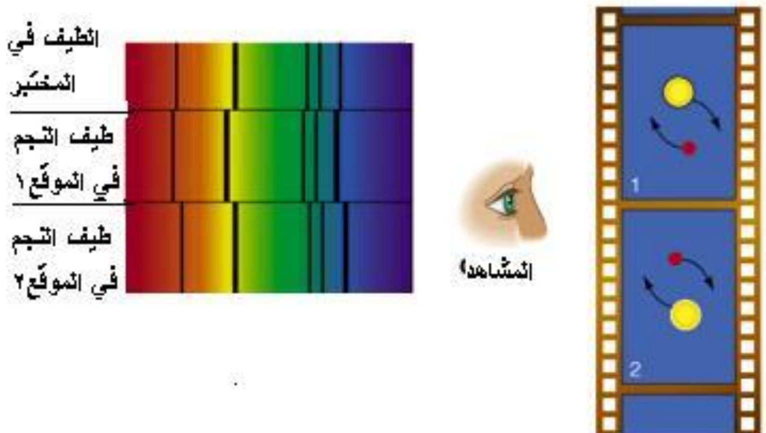
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_e} = \frac{v}{c}$$

حيث أن $\Delta\lambda=\lambda_r-\lambda_e$ هو الفرق بين الطول الموجي المقاس على الأرض received والطول الموجي الأصلي للمصدر emitted و c هي سرعة الضوء.

وبذلك يمكن إيجاد سرعة الجسم من العلاقة:

$$\vartheta = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_e} c = zc$$

حيث يسمى المعامل z معامل انحراف دوبلر Doppler Shift Parameter. ويكون هذا المعامل أقل من واحد في العادة إلا أنه يكون أكبر من واحد للمجرات البعيدة والأجرام السماوية التي تسمى الكوازارات والتي تقع على الحافات البعيدة جداً للكون.



الشكل (5-33) انحراف خطوط الطيف بتأثير دوبلر

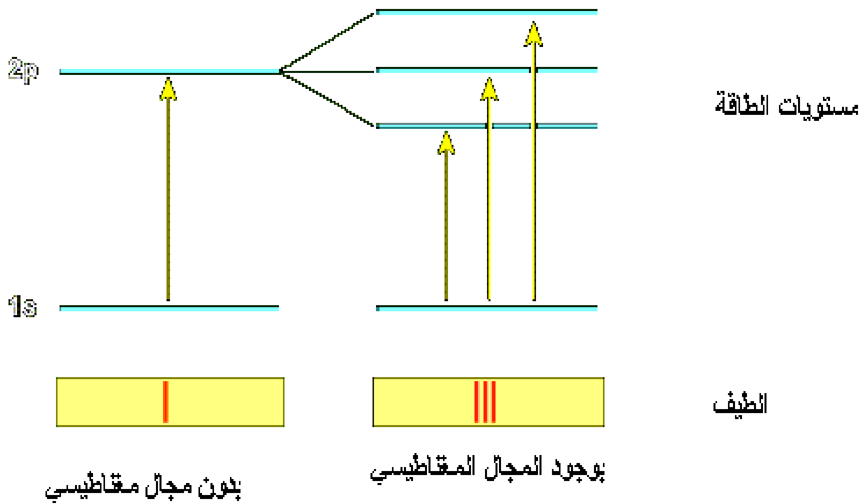
إن ظاهرة دوبلر هذه تؤدي إلى ظهور طيف النجم مزاحاً إلى جهة اللون الأحمر (وهي الحالة الغالبة في الكون) عند مقارنته مع طيفه العناصر نفسها التي يحتويها النجم على الأرض. ويسمى هذا انزياح دوبلر الأحمر Doppler Redshift، أو **الانزياح الأحمر** Redshift بالاختصار. إلا أن الحالة العامة هو حصول انزياح إلى جهة اللون الأزرق من الطيف وهذا يحصل عندما يكون النجم مقترباً من الراصد (الأرض) وهي حالة نادرة ويسمى هذا **الانزياح الأزرق** Blueshift

إن لظاهرة دوبلر تطبيقات مباشرة في معرفة سرعة الأجرام السماوية واتجاه حركتها أيضاً. فإذا كان الانزياح نحو الجهة الحمراء من الطيف قلنا أن الجرم يتحرك مبتعداً عنا، أمَّا إذا كان الانزياح الطيفي نحو الجهة الزرقاء من الطيف قلنا أن النجم يتحرك مقترباً منا. وكما أسلفنا فإن السرعة يتم حسابها باستخدام قانون دوبلر المذكور آنفاً. مما يجدر ذكره هنا أن ادوين هابل اكتشف توسع الكون من خلال أرصاده التي بينت تباعد المجرات عن بعضها البعض، وقاده ذلك إلى وضع قانون لسرعة تباعد المجرات.

كما أن هذه الظاهرة مكّنت الفلكيين من حساب سرعة دوران النجوم حول محاورها من خلال رصد الفرق في الطول الموجي لطرفي النجم الدوار. فضلاً عن ذلك فإن تقنيات جديدة وظّفت ظاهرة دوبلر لاكتشاف منظومات شمسية جديدة.

تأثير زيمان

لاحظ زيمان أن الخطوط الطيفية للضوء الصادر عن مصدر تنشطر الى أكثر من خط عند وضع المصدر تحت تأثير مجال مغناطيسي. وقد تم تفسير ذلك لاحقاً أن هذا التفرع ناتج عن تأثير المجال المغناطيسي في المدارات الإلكترونية وهو دلالة للزخم الزاوي المداري للإلكترونات في الذرة. وقد تم حساب الأطوال الموجية الناتجة في هذا التفرع بدقة عالية جداً، وتعتبر من مفاخر دقة ميكانيك الكم. ويستفاد من هذه الظاهرة لمعرفة شدة المجال المغناطيسي في النجوم التي تبعد عنا آلاف السنين الضوئية.



الشكل (5-34) تأثيرزيمان

الفصل السادس
الشمس والقمر

هي كرة غازية ملتهبة تبلغ كتلتها $10^{30} \times 2$ كيلوغراماً (أي حوالي 333 ألف مرة قدر كتلة الأرض) ويبلغ قطرها 1400000 كيلو متراً (أي حوالي 110مرات قدر قطر الأرض). وبذلك يكون حجم الشمس 1300000 مرة قدر حجم الأرض. وهذا يعني أن معدل كثافتها هو 1.42 غم/سم3 (أي مرة ونصف قدر كثافة الماء تقريباً)، ونقول معدل الكثافة نظراً لأن جسم الشمس ليس متجانساً تماماً بل تزداد كثافته كلما اتجهنا نحو المركز.

تبلغ درجة حرارة سطح الشمس حوالي 6000 درجة مطلقة تقريباً. أمّا في مركزها فتبلغ درجة الحرارة حوالي 15 مليون درجة مطلقة. وتبلغ جاذبية الشمس 28 مرة قدر جاذبية الأرض أمّا سرعة الإفلات عن سطح الشمس فتبلغ 618 كيلو متراً / ثانية. وهذه كمية كبيرة قياساً بتلك التي للأرض والبالغة 11 كيلو متر / ثانية.

قياس قطر الشمس

إذا عُلمت المسافة بين الأرض والشمس فإن بالإمكان حساب قطر الشمس بمعرفة قطرها الزاوي الذي يمكن قياسه بوسائل بسيطة من الأرض.

يبلغ القطر الزاوي للشمس من الأرض حوالي نصف درجة ($\theta = 0.5$ درجة) وباستخدام العلاقة:

نسبة القطر الحقيقي إلى محيط دائرة المنظور = نسبة القطر الزاوي إلى 360 درجة

ومحيط دائرة المنظور في هذه الحالة هو محيط مدار الأرض حول الشمس (على التقريب باعتباره دائرة) وذلك مقداره 950 مليون كيلومتر تقريباً.

ومنها نجد أن: القطر الحقيقي للشمس = 1400000 كيلومتر بالتقريب

أي أن قطر الشمس هو أكثر من مليون وثلث المليون كيلو متر وهذا يزيد على ثلاثة أضعاف المسافة بين الأرض والقمر.

كتلة الشمس

يمكن حساب كتلة الشمس من معلوماتنا عن زمن دورة الأرض حولها دورة كاملة وذلك قدره 365.2422 يوماً ومعرفة والمسافة بين الأرض والشمس البالغة 1.496×10^{8} كيلو متر. وباستخدام قانون كبلر الثالث الذي ينص على أن مربع زمن دورة الكوكب حول الشمس يتناسب طردياً مع مكعب متوسط بعده عنها، نستطيع حساب كتلة الشمس (أنظر الحاشية 6-1) لنجد أنها حوالي 2×10^{30} كيلوغرام.

حاشية (6-1)حساب كتلة الشمس باستخدام قانون كبلر الثالث

من قانون كبلر الثالث نعلم أن

$$T^2 = \frac{4\pi^2 R^3}{GM}$$

حيث أن T = 365.2422 يوم = 3.157×10^{7} ثانية.

ومنه نجد أن:

$$M = \frac{4\pi^2\left(1.496\times10^{11}\right)^3}{6.67\times10^{-11}\times\left(3.157\times10^{7}\right)}$$

$$= 1.99\times10^{30}\text{kg}$$

وهذا يعني أن كتلة الشمس تبلغ 334 ألف مرة قدر كتلة الأرض.

تسارع الجاذبية على سطح الشمس

علمنا أن كتلة الشمس تبلغ 2×10^{30} كيلوغرام تقريباً وأن قطرها يبلغ 1.4×106 كيلو متر تقريباً. فمن هذه المعلومات نستطيع حساب تسارع الجاذبية على سطح الشمس (أنظر الحاشية 4-2) حيث نجد أنه بحدود 269 متر/ (ثانية)^2 وهذا هو حوالي 27.5 مرة قدر الذي على سطح الأرض. أما سرعة الافلات فهي 614 كيلومتر في الثانية. ولغرض إعطاء القارئ فكرة عن ما تعنيه هذه الأرقام نقول أن لتر الماء الذي يزن على الأرض 1 كغم سيزن على سطح الشمس 27.5 كغم تقريباً. وهكذا نرى أن الحبيبات القريبة من سطح الشمس تتعرض إلى قوة جذب هائلة مقارنة بالتي تتعرض لها تلك الأجسام قرب سطح الأرض. وهذا مع يفسر احتفاظ الشمس بمادتها الغازية رغم أن معدل كثافتها أقل كثيراً من كثافة مادة الأرض!!.

حاشية(6−2) حساب التسارع الثقالي وسرعة الافلات على سطح الشمس

من معلوماتنا التي تعلمناها عن قوانين نيوتن نعرف أن الصيغة الرياضية للتسارع الثقالي هي

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

حيث أن G هو ثابت الجاذبية ، M كتلة الجرم و R هي نصف قطره ، لذا فإن التسارع الثقالي على سطح الشمس هو:

$$= \frac{6.6\times10^{-11}\times2\times10^{30}}{\left(7\times10^{8}\right)^2}$$
$$= 269 m/s$$

أمّا سرعة الإفلات عن سطح الشمس فيمكن حسابها كالآتي:

$$V_{escape} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = 614\ km/s$$

دوران الشمس حول نفسها

لاحظ غاليليو غاليلي عند رصده للشمس وجود بقع سود على سطحها (سميت لاحقاً البقع الشمسية) وبتكرار الملاحظة وجد أن هذه البقع تتحرك من اليسار إلى اليمين فاستنتج بعد طول المراقبة أن الشمس ليست جسماً ساكناً بل هي تدور حول نفسها، لكن دورانها هذا ليس كدوران الأجسام الصلبة لكونها كتلة غازيه، فهي تدور دورة كاملة عند القطبين مرة كل 30 يوماً أرضياً فيما يدور خط إستوائها دورة واحدة كل 25 يوماً.

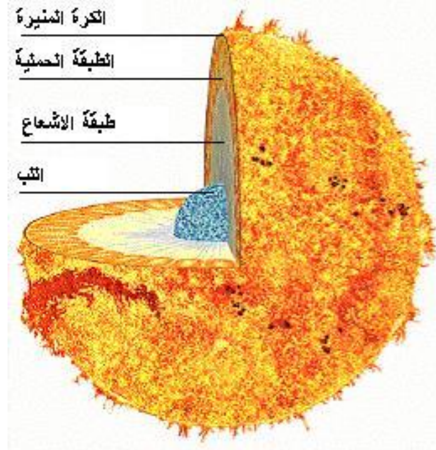
بنيان الشمس

قلنا أن الشمس هي عبارة عن كتلة غازية هائلة تتألف في معظمها من الهيدروجين حيث يشكل ما نسبته 70% من كتلة الشمس وغاز الهيليوم الذي نسبته 27% بينما يتألف باقي مادة الشمس من عناصر أخرى تشمل الليثيوم والبريليوم والبورون والكربون والنتروجين والأوكسجين... الخ. ونسبتها الكلية 3% من مادة الشمس. ويمكن القول إجمالاً أن جوف الشمس يتألف مما يلي:

اللب Core: ويؤلف النواة المركزية للشمس. وفي هذه المنطقة تكون كثافة الغازات عالية جداً (حوالي 160 غم/سم3) وتبلغ درجة الحرارة بحدود 15 مليون درجة مطلقة وتحدث التفاعلات النووية حيث يندمج نوى ذرات الهيدروجين (البروتونات) وتتحول إلى نوى ذرات الهيليوم مطلقة كمية كبيرة من الطاقة ومولده ضغطاً داخلياً يجعل الشمس تتوازن ميكانيكياً وتحافظ على هيكلها العام.

الطبقة الإشعاعية Radiative Zone: تحيط باللب طبقة غازية باردة ذات كثافة أقل وهي بهذا تعمل على عزل اللب وحفظ حرارته بذات الوقت الذي تؤدي إلى نقل الطاقة المتولدة في اللب إلى الخارج بطريق الإشعاع. وتحتل منطقة الإشعاع هذه النطاق من 0.25 إلى 0.85 من نصف قطر الشمس. وتبلغ كثافة الغازات

فيها من 34 غم/سم3 قرب حافة اللب حتى 0.01غم/سم3 على الحافة الخارجية للطبقة نفسها.



الشكل(6-6) تركيب الشمس

الطبقة الحملية Conductive Zone: وهو الغلاف الذي يلي الطبقة الإشعاعية ويمتد حتى 0.85 من نصف قطر الشمس. وتنتقل الحرارة فيه عن طريق الحمل بواسطة تيارات غازية دوارة.

الكرة المنيرة: طبقة الفوتوسفير Photosphere وهي الطبقة المرئية التي تظهر لنا من الأرض صفراء اللون وتفصل سطح الشمس عن غلافها الخارجي. يبلغ سمك هذه الطبقة بحدود 300 كيلومتر. وقد سميت بهذا الاسم لأن الفوتونات المتولدة في باطن الشمس تفلت منها حال وصولها إليها. تبلغ حرارة هذه الكرة حوالي 5800 كلفن.

الغلاف الجوي للشمس

وينقسم إلى ثلاث مناطق:

أ- الطبقة القالبة Reversing layer

وتقع فوق طبقة الفوتوسفير مباشرة ويبلغ سمكها حوالي 1600كم، وكثافتها قليلة جداً وتبلغ درجة حرارتها عند سطحها العلوي حوالي 7500 كلفن.

ب- الكرة اللونية The Chromo- sphere

وهي الطبقة الوسطى في الغلاف الجوي للشمس تبلغ درجة حراراتها حوالي مليون درجة كلفن، ويكون فيها ذرات الهيدروجين متأينة تماماً.

ج- الإكليل الشمسي The corona

وهي الطبقة الخارجية التي لا ترى بالعين مباشرة إلا أثناء الكسوف الكلي. يبلغ سمكها بحدود 1.6 مليون كيلو متر. تكون كثافة الغازات فيها قليلة جداً وتبلغ درجة حرارتها اكثر من مليون درجة كلفن.

المظاهر الشمسية

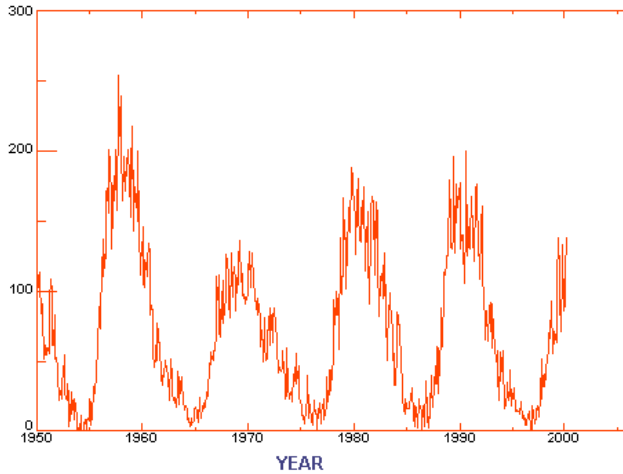
تتميز الشمس ببعض المظاهر التي تختص بها ومن أهم هذه المظاهر البقع الشمسية والتأجج الشمسي والشواظ والحبيبات الشمسية والشعيرات الشمسية. وفيما يلي شرح موجز لهذه المظاهر للتعرف على أسبابها والاطلاع على تصرفها.

البقع الشمسية Sun Spots:

وتسمى أيضاً **الكلف الشمسي** لشبهها بالكلف الذي يظهر في الوجه. وهي بقع داكنة تظهر بأحجام مختلفة على سطح الشمس تنتج عن الاختلاف في درجات حرارة سطح الشمس، حيث تبدو المناطق الحارة جداً على كرة الشمس براقة لامعة على حين تظهر المناطق الأقل حرارة معتمة.

يمكننا مشاهدة البقع الشمسية من خلال مرشحات معتمة خاصة بالرصد الشمسي ولا يمكن بالطبع رؤيتها بغير هذه الوسيلة وذلك لشدة بريق ضوء الشمس الذي يؤدي إلى إحراق شبكية العين في حالة النظر المباشر إليها لبضع دقائق.

يتفاوت عدد البقع الشمسية بحسب السنوات ما بين 50 بقة إلى 500 بقعة. وقد لوحظ أن لهذه البقع دورة أمدها بحدود 11 عاماً يتزايد فيها عددها خلال هذه المدة ليمكث نحواً من 100 يوم ثم يبدأ العدد بالتناقص فتختفي كثير من البقع الشمسية ثم تظهر ثانية بعد 11 سنة أخرى. وتسمى هذه "دورة البقع الشمسية".



الشكل (7-6) دورة البقع الشمسية

كما لوحظ أن للبقع الشمسية حركة دورية ما بين خطي عرض ±30. إذ تكون في بدء دورتها عند هذين الموقعين ثم تتجه نحو خط الاستواء الشمسي لتصطف عنده نحو نهاية أمد الدورة.

يُعزى ظهور البقع الشمسية إلى تركيز المجال المغناطيسي للشمس عند مناطق معينة حيث تبلغ شدته حوالي 5000 ضعف المجال المغناطيسي الأرضي. ونظراً لأن جسم الشمس يتألف من جسيمات مشحونة متحركة بسرعة عالية، ونظراً لتحكم المجال المغناطيسي بمسارات هذه الشحنات المتحركة فإن البقع ذوات الحرارة الواطئة لا بد أن تظهر عندما يكون هنالك عدم تجانس في توزيع خطوط القوى المغناطيسية على سطح الشمس. أمّا بالنسبة إلى تعليل دورة البقع

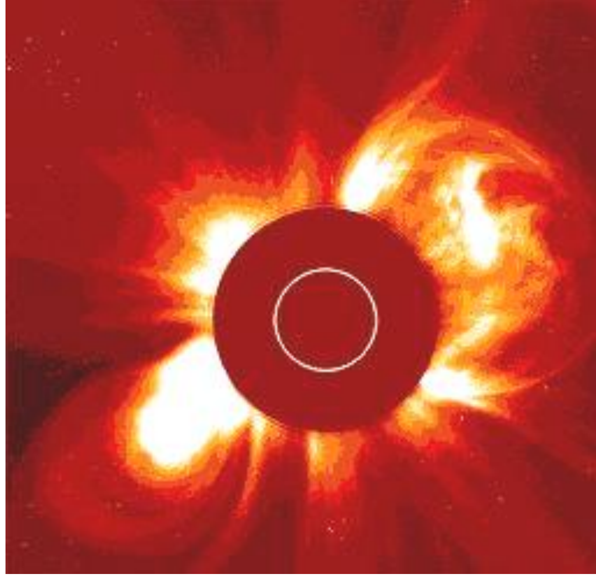
الشمسية فهو أمر لا زال مبهماً حيث أنه مماثل تماماً لدورة المجال المغناطيسي الأرضي وانقلاب الأقطاب المغناطيسية للأرض كل 5000 سنة. ولا تزال الأبحاث جارية لمعرفة سر ذلك.

الشواظ الشمسي Prominence

وهي السنة من اللهب الوردي المندفع بعيداً عن سطح الشمس على شكل أقواس ومنحنيات لمسافة مئات آلاف الكيلومترات. وتتكون هذه الألسنة الملتهبة من غازات ساخنة جداً، وتتشكل بهذه سحب غازية متوهجة تنشأ عن الكرة اللونية. وذلك عندما يخفض الحقل المغناطيسي للشمس من تدفق الحرارة إلى منطقة ما. فالشواظ في الهيئة أبرد من الغاز المحيط به وهذا يعني -حسب القانون العام للغازات- أن يكون الضغط داخله أقل من الضغط خارجه. وثم يحجز الغاز الخارجي المار غاز الشواظ الأقل برودة وإذا كانت الظروف ملائمة فقد يستمر هذا الغاز البارد المحتبس في سجنه المغناطيسي بالتوهج لأسابيع عديدة.

التأجج الشمسي Solar Flares

تحصل بجوار البقع الشمسية انفجارات عنيفة للغاية تستمر لبضع دقائق ثم تختفي تدريجياً خلال ساعات وتكون هذه السحب الوهاجة أصغر من الشواظ الشمسي وأقل ارتفاعاً لكنها أكثر عنفاً وتبلغ درجة حرارتها بحدود 100 مليون كلفن، وتعود أهميتها إلى أنها تبعث إشعاعات في منطقة الأشعة السينية والفوق البنفسجية وكذلك في نطاق الأمواج الراديوية مما يؤدي إلى التأثير على الموجات الراديوية في الأرض والمجال المغناطيسي الأرضي.

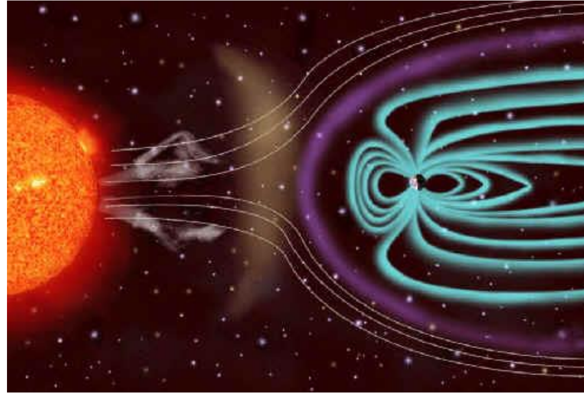


الشكل (8-6) التأجج الشمسي

إن هذه السحب المتوهجة هي مصدر الحبيبات المشحونة المتأنية التي تندفع مع الرياح الشمسية فتؤثر في المجال المغناطيسي للأرض وتسبب ظهور الشفق القطبي Aurora.

الرياح الشمسية: Solar Wind

إن درجة حرارة الإكليل الشمسي العالية تكتسب ذرات غازات الهيدروجين والهيليوم فيه طاقة حركية كبيرة يجعلها تتمكن من الإفلات من جاذبية الشمس وعندئذٍ تنساب هذه الذرات في الفضاء الخارجي على هيئة رياح مؤلفة من الهيدروجين و الهيليوم تسمى **الرياح الشمسية**.



الشكل (6–9) الرياح الشمسية تضرب الأرض

عند مرور الأيونات التي تمثل الرياح الشمسية بالأرض فإنها تولد تيارات كهربائية في غلافها الجوي العلوي لتدور حول القطبين المغناطيسيين الشمالي والجنوبي فتندفع الإلكترونات نحو أسفل خطوط الحقل المغناطيسي وتتحلزن الإلكترونات المتحركة حول خطوط الحقل فترتطم بجزيئات النتروجين والأوكسجين فتستثار الغازات الجوية نتيجة لهذه الارتطامات ومن ثم ترتفع إلكترونات ذراتها إلى مدارات أعلى ولدى هبوط الإلكترونات عائدة إلى مداراتها الدنيا تطلق ضوءاً جميلاً يسمى **الشفق القطبي Aurora**.

نورانية الشمس

النورانية **Luminosity** هي كمية الطاقة التي يشعها الجسم في وحدة الزمن، وهذه هي **القدرة Power**، وتقاس عادة بوحدات الواط Watt. وهكذا نتعامل مع المصابيح العادية فنقول أن قدرة هذا المصباح هي 100 واط وذاك المصباح قدرته 200 واط. وبالنسبة للأجسام تتناسب النورانية مع طرداً مع مساحته السطحية ومع القوة الرابعة لدرجة حرارته. ومقدار نورانية الشمس هو 4×1026 واط. وهذا مقدار كبير جداً بالقياس إلى أي مصدر طاقة أرضي.

ونحن على الأرض لا نقيس في الواقع نورانية الشمس بل سطوعها **والسطوع** **Brightness** هو النورانية مقسومة على المساحة السطحية وتقاس بالواط على المتر المربع. ومن المعروف أن سطوع الجسم يقل كلما ابتعدنا عنه. وكأن الطاقة تتوزع على أسطح كرات متمركزة حول بعضها البعض. ويتناسب السطوع عكسياً مع مربع البعد. ومقدار سطوع الشمس عند الأرض هو حوالي 1400 واط لكل متر مربع، ويسمى هذا **الثابت الشمسي** **Solar Constant**. وهو يقاس بأجهزة خاصة تسمى **المجسات الضوئية**.

مصدر طاقة الشمس

ظن الأقدمون أن الشمس هي كتلة هائلة من الفحم المتوقد يشتعل على مر الزمن لتدفئة الأرض. لكن هذا التصور غير عملي من حيث أن كتلة من الفحم بقدر كتلة الشمس لن تستمر أكثر من خمسة آلاف سنة وتتحول بعد ذلك إلى رماد.

وفي نهاية القرن التاسع عشر اقترح هلمهولتز وكلفن نظرية تعتمد على **التقلص الجذبي** **Gravitational Contraction** لكتلة الشمس إذ يتحرر بموجب هذا النموذج قدر من الطاقة الجذبية الكامنة متحولاً إلى طاقة حرارية لتؤلف طاقة الشمس. لكن هذا النموذج هو الآخر لم يفلح في تفسير طاقة الشمس لأن الطاقة الجذبية الكامنة في كتلة الشمس لا تستطيع تحويل الطاقة المرسلة من الشمس بالمعدل الحالي لأكثر من عشرين مليون سنة. وإذا ما عرفنا أن عمر الشمس يزيد على 4500 مليون سنة حتى الآن علمنا لماذا لا يصلح نموذج هلمهولتز - كلفن لتفسير مصدر طاقة الشمس.

حاشية (6–3)   مصدر طاقة الشمس

خلال الثلاثينات من القرن العشرين اقترح الفيزيائيان اوبنهايمر وبيتا نموذجاً تندمج بموجبه أربع بروتونات (نوى ذرات الهيدروجين) لتكوين ذرة هيليوم واحدة. وخلال هذه العملية تتحرر طاقة قدرها 4.2×10^{-5} من كل عملية اندماج. وبافتراض أن 10% فقط من كتلة الشمس يشارك في عمليات الاندماج النووي وأن 0.7% من هذه الكمية تتحول فعلاً إلى طاقة حرارية وضوئية. وباستخدام علاقة التكافؤ بين الطاقة والكتلة التي وجدها ألبرت آينشتين

$$E=mc^2$$

فإن مجموع الطاقة المتولدة سيكون:

$$\Delta E = 1.26\times10^{51}\ \text{erg}$$

ولما كانت كمية الطاقة المنبعثة من الشمس في الثانية الواحدة هي:

$$L = 4 \times 10^{33}\ \text{erg/s}$$

فإن عمر الشمس سيكون:

$$t = \frac{\Delta E}{L}$$

$$= 3.15\times10^{17}\text{s}$$

$$\approx 10^{10}\ \text{year}$$

أي أن الطاقة المتحررة عن طريق الاندماج النووي لنوى ذرات الهيدروجين في باطن الشمس تكفي لتمويل طاقتها لمدة عشر مليارات سنة وهذه مدة معقولة جداً. لذلك إذا كان عمر الشمس حالياً هو بحدود 4500 مليون سنة فإن من المتوقع أن تستمر الشمس في نشاطها هذا لمدة 5500 مليون سنة أخرى قادمة، إلا أن يشاء الله أمراً آخر لا نعلمه.

إلا أن اكتشاف عمليات الاندماج النووي والقدر الهائل من الطاقة الكامنة في القوى النووية والتي يمكن تحريرها خلال اندماج النوى الخفيفة مثل

الهيدروجين لتشكيل نوى أثقل مثل الهيليوم، أكد إمكانية أن يكون الاندماج النووي مصدراً للطاقة المتولدة في باطن الشمس. إلى جانب ذلك فإن الاندماج النووي في باطن الشمس يولد الضغط اللازم لتحقيق التوازن الهيدروستاتيكي والذي يمنع من انهيار الشمس وتكويرها بسبب تجاذب أجزائها بعضها إلى البعض الآخر.

مصير الشمس

الشمس هي دعامة الحياة على الأرض وبدونها تصبح الحياة مستحيلة. هذه الشمس عمرها الآن بحدود 4.5 مليار سنة وتقدر الدراسات الفلكية أنها ستستمر على هذه الحال 5 مليارات أخرى من السنين. وفي آخر عمر الشمس سوف يُستنفذ الوقود النووي الأساسي وهو الهيدروجين في داخلها وتهمد الانفجارات النووية العنيفة الناتجة عن اندماج الهيدروجين والتي تحصل الآن في باطنها، ولذلك تنخفض درجة حرارتها السطحية وعند ذلك ستتغلب قوى التجاذب الثقالي بين أجزائها على الضغط الداخلي الذي يسندها فتنكمش على نفسها. لكنها ما أن تنكمش حتى ترتفع درجة حرارتها وفق السُنة المعتادة للغازات وتتزايد درجة حرارة باطنها بقدر كبير يجعل الظروف مناسبة لإندماج نوى ذرات الهليوم المتوفرة في باطنها، متحولة على الأغلب إلى نوى ذرات الكربون. وبذلك تبدأ دورة جديدة من التفاعلات النووية الإندماجية الأكثر عنفاً فيتولد داخل الشمس ضغط هائل يدفعها إلى الانتفاخ هذه المرة فيزداد حجم الشمس آلاف المرات لتبتلع كوكبي عطارد والزهرة وحتى يبلغ سطحها قريباً من الأرض. وعند هذا تكون حرارة سطحها قد انخفضت بسبب التمدد الهائل ويتحول لونها إلى الأحمر الوردي، وتسمى عندئذٍ **عملاق أحمر Red Giant** . يقول تعالى:

[فَإِذَا انْشَقَّتِ السَّمَاءُ فَكَانَتْ وَرْدَةً كَالدِّهَانِ] (الرحمن:37)

ثم يحصل لها انكماشات وانتفاخات حتى يُستنفذ معظم الهليوم داخلها. وهنا تهمد الإندماجات النووية ولا يبقى في أتون الشمس ما يمنع أجزائها من الانكماش والاجتماع فتحصل المرحلة الأخيرة لها وذلك بالانكماش العظيم لأجزائها البعض على البعض الآخر ونسمي هذه المرحلة **التكوير**، حيث تتحول الشمس إلى جرم صغير قطره أقل من قطر كرة الأرض إذ يبلغ بحدود 5000 كيلومتر! وتسمى الشمس عند هذه الحالة **قزم أبيض White Dwarf**، ويبقى جزء من غلاف الشمس الخارجي يذهب مبتعداً في الفضاء مؤلفاً ما يُسمى **السديم الكوكبي Planetary Nebula**. تذكرنا هذه الحالة بقوله تعالى

(إِذَا الشَّمْسُ كُوِّرَتْ) (التكوير:1)

فالتكوير في اللغة ضم الشيء بعضه إلى بعض ويكون في دور. وفي حالة تكوّر الشمس إلى حالة القزم الأبيض تزداد سرعة دورانها المحورية كثيراً.

وتبقى الشمس على هذه الحالة المستقرة إلى ماشاء الله لها إن بقي الكون على حاله، تشع ضوءاً أبيض خافتاً، لا يكاد يرى من مكان بعيد. والمعروف أن النجوم ذوات الكتل المقاربة لكتلة الشمس هي التي تتحول إلى أقزام بيض وقليل منها ما يتحول إلى قزم أبيض مستقر إذ أن الكثير من الأقزام البيض ربما طرأت عليه تحولات أخرى أدت إلى استمراره على حالة من اللاإستقرار. لكن شمسنا هذه تؤول إلى قزم أبيض مستقر. قال الله تعالى في الكتاب العزيز:[والشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ] (يّس:38)

جدول (6–1) معلومات عامة عن الشمس

نصف القطر	6.96×10^{5} كيلو متر
الكتلة	1.99×10^{30} كيلو غرام
معدل الكثافة	1.4 غم/سم3
سرعة الإفلات	618 كيلو متر / ثا
المجال المغناطيسي	5 أمثال الذي للأرض تقريباً
سرعة الدوران حول المحور	25.4 يوماً (عند خط الاستواء)
ميل محور الدوران على الدائرة الكسوفية	7.25 درجات
درجة حرارة السطح	5780 كلفن
الثابت الشمسي	1368 جول / متر^{2}/ثا
النورانية	3.83×10^{26} جول / ثا
درجة حرارة اللب	15×10^{6} درجة مطلقة

القمر

القمر هو أقرب الأجرام السماوية إلينا، وهو الجرم السماوي الوحيد الذي نستطيع أن نرى تضاريسه بالعين المجردة، والقمر هو تابع للأرض يدور حولها في مدار اهليجي دورة كاملة كل شهر. وكان ولا يزال محط اهتمام الإنسان، فهو الجرم الأهم بالنسبة للأرض بعد الشمس، يضيء الليل الأدهم ويحرك ماء البحار والمحيطات مداً وجزراً، لكنه يتميز بانعدام الفعالية على سطحه فضلاً عن انعدام الغلاف الجوي مما جعله عالماً ميتاً خال من الحركة منذ أول نشأته.



الشكل (6-10) صورة القمر في طور البدر

يدور القمر حول الأرض في مدار اهليجي ويبلغ متوسط بعده عنها بحدود 384000كم وتبلغ كتلة القمر حوالي 0.01 من كتلة الأرض ومعدل كثافته هي 3.34 غم/سم3 مما يدل على احتوائه على لب كثيف. وتبلغ سرعة الافلات عن سطحه 2.4كم/ثا.

وصف القمر

المظاهر السطحية:

يلاحظ الراصد أن سطح القمر يتميز بوجود مناطق قائمة مستوية على حين تظهر المناطق الساطعة مغطاة بحفر دائرية كبيرة تسمى الفوهات البركانية، ولهذه الفوهات حواف مرتفعة، ويتراوح قطر هذه الفوهات ما بين سنتيمتر واحد إلى 240 كيلو متر كفوهة كلافيوس، وتتوافر مراكز بعض الفوهات الضخمة على قمم جبلية.

تسمى المناطق القائمة الضخمة **بحوراً Maria**، إلا أنها بحار خالية من الماء تماماً ولم يكن فيها يوماً أي قطرة ماء إلا أن الفلكيين القدامى أسموها بذلك ظناً منهم أنها بحور فعلاً. وتسمى المناطق المحيطة بالبحار القمرية **هضاباً highlands**، ويتفاوت سطوع البحور والهضاب لاختلاف أنواع الصخور التي تتركب منها، فالبحور القمرية تتألف من صخور بازلتية قاتمة غنية بالحديد والمغنيسيوم وسليكات التيتانيوم، أمّا الهضاب القمرية فتتألف بشكل رئيسي من معدن الأنورثوسيت وهو نوع من الصخور الغنية بالكالسيوم وسليكات الألمنيوم، وصخور الهضاب القمرية أقل كثافة من صخور البحار القمرية وأقدم عمراً منها، وتكثر الفوهات البركانية في الهضاب القمرية حتى يتداخل بعضها مع بعض ويمكن للراصد باستخدام مرقب بسيط ملاحظة هذه الخاصية على سطح الهضاب، فيما تكون الفوهات البركانية في البحور القمرية قليلة جداً وصغيرة. كما يتبين للراصد أيضاً وجود **أخاديد قمرية Rilles** يبدو أنها نشأت نتيجة تدفق حمم بركانية قديمة، كما تنتشر أخاديد مستقيمة على سطح القمر ويبدو أنها نشأت عن تشقق القشرة الخارجية.

بنية القمر

تغطي سطح القمر عموماً تربة غبارية ناعمة سمكها بضع سنتيمترات تكونت **من** فتات الصخور والنيازك الساقطة على سطحه، وهنالك الصخور النارية (البازلتية) التي نتجت عن اللافا البركانية التي بردت تدريجياً بعد ظهورها إلى سطحه وهي طبقة رمادية من أصل بركاني، وهنالك نوع آخر من الصخور تدعى **بريشيا Breceia** وهي بيضاء اللون مكونة من الكربونات المعدنية تكونت بالتحام أجزاء صغيرة من الصخور القديمة بعوامل الضغط الناتج عن تصادمات النيازك.

ويبين التحليل الكيماوي لصخور وتربة القمر ما يلي: أن نسب الوفرة الطبيعية لنظائر بعض العناصر الموجودة في القمر مشابهة لنسبها في صخور الأرض. وأن نسب الوفرة الطبيعية لنظائر الأوكسجين هي نفسها التي في تربة الأرض مما يدل على أن

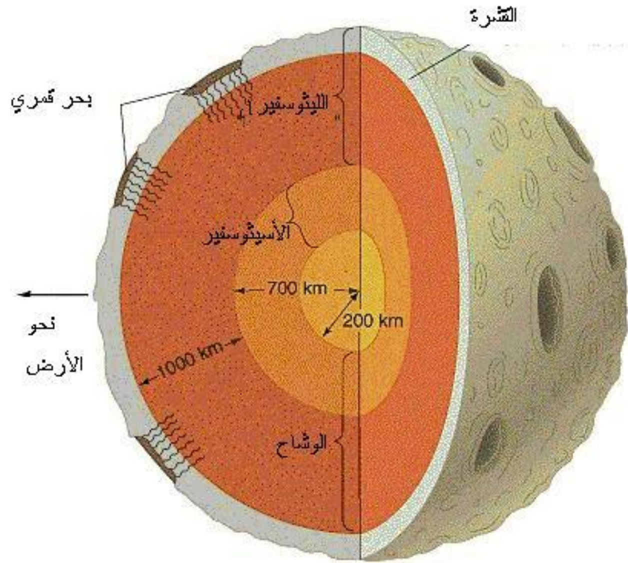
القمر والأرض قد تكونا من نفس المادة وفي نفس الموقع من المنظومة الشمسية. كما أن نسب الوفرة الطبيعية لنظائر العناصر المتطايرة (كاليود مثلاً) أقل مما هي على الأرض، وربما يُعزى ذلك إلى تطايرها من سطح القمر لعدم وجود ضغط جوي. وقد وجد بطريقة التأريخ النووي أن عمر الصخور القمرية هو حوالي 3.7 مليار سنة. وهذا أقل من عمر صخور الأرض بقليل.

طبقات القمر

كشف التحليل الزلزالي أن القمر يتألف من ثلاث طبقات هي:

1. القشرة: Crust: ويبلغ سمكها في الوجه المواجه للأرض حوالي 65كم بينما يبلغ ذلك في منطقة الوجه المعاكس 150كم. وتتركب القشرة من صخور سيليكانية غنية نسبية بالألمنيوم وفقره بالحديد.

2. الوشاح: Mantle ويبلغ سمكها بحدود 900 كيلو متر وتتألف من طبقتين: طبقة الليثوسفير: وهي غلاف صلب يبلغ سمكه حوالي 700 كم



الشكل (11-6) طبقات القمر

طبقة الأستينوسفير: وهي غلاف شبه مصهور يعتقد أنه غني بالحديد. ويبلغ سمكه حوالي 200 كم.

3. اللب:Core ويبلغ سمكه حوالي 500 كم وهو أقل كثافة من لب الأرض، وليس للقمر لب منصهر ودرجة حرارة لب القمر أقل كثيراً من حرارة لب الأرض لاختلاف كتلته.

يبلغ معدل كثافة مادة القمر حوالي 3.3 غم/سم^3 وهذه أقل من معدل كثافة الأرض البالغة حوالي 5 غم/سم^3.

الغلاف الجوي للقمر

لا يحجب سطح القمر أية سحب غبارية أو ضباب، كما لا يشير تحليل ضوء الشمس المنعكس عن سطحه إلى وجود أي أثر للغازات، مما يعني انعدام الغلاف الغازي للقمر، لذلك فإن درجة الحرارة على سطح القمر ترتفع ارتفاعاً غير عادي خلال النهار وتنخفض انخفاضاً شديداً خلال الليل دون أن تهب أية رياح في أي وقت، لذلك يتبع القمر تحت سماء مظلمة هادئاً بلا حراك.

يعزى انعدام الغلاف الجوي للقمر إلى سببين:

برودة باطن القمر مما جعل النشاط البركاني فيه معدوماً ونظراً لأن النشاط البركاني هو من أهم مصادر تكوين الغلاف الغازي وتجديده، فإن انعدام هذا النشاط على القمر إنما يؤدي إلى انعدام غلافه الغازي.

وحتى لو تكّون للقمر في بدء نشأته غلاف غازي فإن ضعف جاذبية سطحه كانت ستؤدي بالضرورة إلى عدم بقاء مثل هذا الغلاف مدة طويلة، إذ أن الغازات المحيطة بالقمر كانت ستتسرب إلى الفضاء الخارجي بسبب ضعف جاذبيته.

وهكذا يمكن القول أن آثار أقدام رواد الفضاء الذي زاروا القمر عام 1969 ستبقى في أماكنها دون أي تغيير لملايين السنين ما لم تسقط عليها شهب السماء متغير من ملامحها.

منشأ القمر

كان لعلماء الفلك قبل رحلات أبولو Apollo الاستكشافية ثلاث نظريات حول نشأة القمر، وهذه هي:

1. نظرية الأسر Capture Theory:

وتتلخص هذه النظرية بافتراض أن القمر كان كوكباً صغيراً تشكّل في نفس الوقت الذي تشكلت به كواكب المنظومة الشمسية ونظراً لقرب هذا الكوكب الصغير من الأرض فقد أسرته جاذبية الأرض وجعلته تابعاً لها.

2. نظرية التوائم Twin Formation Theory:

وهذه النظرية تفترض نشوءاً اقترانياً للقمر مع الأرض من السحابة الغازية التي تألفت منها كواكب المنظومة الشمسية.

3. نظرية الانفصال Separation Theory:

وهذه النظرية تذهب إلى أن الأرض في أول نشوءها كانت كرة لينة منصهرة تدور بسرعة فتشكل من دورانها السريع انتفاخ في سطحها ما لبث أن انفصل عنها وأصبح تابعاً لها في مدار حولها.

إن لهذه النظريات الثلاث تنبؤات مختلفة حول بنية القمر، فلو كان القمر كوكباً ثم أُسر بجاذبية الأرض لاقتضى ذلك أن يكون تركيبة مختلفاً تماماً عن تركيب الأرض، ولو كان القمر والأرض توأمين فإن تركيبهما لا بد وأن يكون متشابهاً تماماً. أمّا لو كان القمر يوماً جزءاً من الأرض فلا بد أن يكون تركيب القمر مطابقاً لتركيب الأرض.

لقد كشفت الأبحاث التي جرت حول العينات التي جلبتها رحلات برنامج أبولو الاستكشافية أن بعض العناصر في تربة القمر وصخوره مماثلة تماماً لتلك التي في قشرة الأرض على حين أن عناصر أخرى وجدت مختلفة اختلافاً جذرياً، وعلى سبيل المثال وجد أن تربة القمر غنية بالعناصر ذوات درجات الانصهار العالية كالذهب فيما خلت مادة صخوره من المواد ذوات درجات الانصهار الواطئة كالماء. فضلاً عن ندرة الحديد في صخور القمر مقارنة بصخور الأرض.

أكدت هذه الوقائع أن أياً من النظريات الثلاثة سالفة الذكر لا تقدم صورة صحيحة من نشأة القمر مما حمل علماء جيولوجيا القمر على التفكير بفرضيات بديلة، وبحسب أحدث هذه الفرضيات يكون القمر قد نشأ عن أنقاض تطايرت من الأرض نتيجة اصطدام جرم سماوي بحجم كوكب المريخ مع الأرض الفتية التي كان عمرها وقد ذاك حوالي 2 مليار سنة وتلا الاصطدام انصهار الجرم الصادم وتبخر كميات هائلة من صخور سطح الأرض ما لبث أن اندفعت إلى الفضاء وبصورة سحابة متوهجة، ولدى تبرد الشظايا أدت الثقالة دوراً أساسيا في تجميع تلك الشظايا لتكوين القمر الذي نراه اليوم.

إن نظرية الولادة العنيفة هذه تفسر عدة أمور غريبة تتعلق بخواص تربة القمر إذ أن التصادم العنيف يؤدي إلى تبخير المواد ذوات درجات الانصهار الواطئة ويبددها مخلفاً وراءه قليلاً من الماء والعناصر ذوات درجات الانصهار العالية، وقد أظهرت نماذج المحاكاة الحاسوبية لحادثة كهذه أن الصخور السطحية فقط هي التي ستتطاير تاركة لب الأرض الحديدي دون أذى مما يفسر ندرة عنصر الحديد في الصخور القمرية، أمّا المدار الذي تتخذه تلك الصخور والشظايا المتطايرة والمتجمعة على بعضها البعض فيعتمد على متغيرات زوايا التصادم والحركات (الزخوم) ولا علاقة لها حينئذ بمستوى خط الاستواء الأرضي، أمّا التشابه الملحوظ في تربة القمر وصخوره مع تربة وصخور الأرض فمرده أن جزءاً من مادة القمر

مصدرها الأرض وما تطاير من شظايا عن قشرتها بينما يكون الاختلاف مردوداً إلى مادة الجرم الصادم.

كما أن هذه النظرية نفسها تفسر أيضاً سبب اختلاف محور دوران الأرض حول نفسها بشدة (23.5 درجة) خلافاً لحالة الكواكب عطارد والزهرة والمشتري وزحل باعتبار أن التصادم العنيف قد زحزح الأرض عن محور دورانها وأمالهُ بمقدار محسوس.

الفصل السابع

الأرض

الأرض وحركاتها

لم يكن الإنسان ليعلم بشكل الأرض ولا بحركاتها إلا بعد عشرات آلاف السنين من وجوده عليها. فقد تصور الإنسان الأرض مساحة مسطحة ممتدة امتداداً لا نهائياً. ثم وبعد أن اكتشف سعة المناطق التي تغطيها المياه وإحاطتها بالأرض من كل جهة توجه إليها، ظن الإنسان أن الأرض طافية على سطح ذلك البحر المحيط. وظنه أنها قبة إنما جاء من ملاحظته تحدب سطحها. أما حركات الأرض فلم يعرف بها الساكن على سطحها إلا منذ عهد قريب، وذلك لأن مساحة الأرض كبيرة وكتلتها عظيمة مما يجعل قصورها الذاتي (الممانعة التي يبديها الجسم لتغيير حالته الحركية) كبيراً ، وهذا مما يمنع حصول تغيرات مفاجئة وسريعة في حركات الأرض، لتبدو مستقرة هادئة وادعة بمن فيها وعليها.

فيما يلي من الفقرات سنقدم عرضاً للمعارف المعاصرة عن شكل الأرض وعن حركاتها موضحين في الوقت نفسه، ما أمكننا ذلك، وسائل التوصل إلى هذه المعارف.



الشكل (7-1) الأرض كما تبدو من الفضاء

كروية الأرض

الأرض جسم كروي الشكل بالتقريب ولو ظن البعض أنها جسم بيضوي لكان في ذلك بعض المبالغة، فهي على الحقيقة كرة مفلطحة قليلاً عند محيط استوائها. لذلك صار للأرض قطبان أحدهما شمالي والآخر جنوبي،

ولكي نعرف مقدار التفلطح على حقيقته نقول أن المسافة من مركز الأرض إلى أحد قطبيها تبلغ 6357 كيلومتراً فيما تبلغ المسافة من المركز إلى محيط استوائها 6378 كيلومتراً أي بفارق مقداره 21 كيلومتراً وهذا يشكل ما نسبته 0.3% فقط، وهذه نسبة ضئيلة.

ولم يكن من السهل أن يؤمن الناس بكروية الأرض لولا أن قامت أدلة كثيرة على ذلك، ينسبها المؤرخون إلى أرسطو طاليس وهي ليست جميعاً له. فإن الأمم القديمة استدلت على كروية الأرض من ظواهر الخسوف، ففيها يسقط ظل الأرض على القمر وبذلك تبينوا شكلها. فضلاً عن دليل تقوس سطح الأرض الملحوظ بدلالة ظهور أشرعة السفن للناظرين بعيداً في البحر قبل ظهور أجسامها. وقد تمكن الإنسان مؤخراً من تصوير الأرض من خارجها في الفضاء وهي على ما ترى في الشكل (7-1) شبه كرة تامة التدوير. ورغماً عن ذلك فإن بعض الجهال لا زالوا يعتقدون أن الأرض مسطحة كقرص.

قياس محيط الأرض

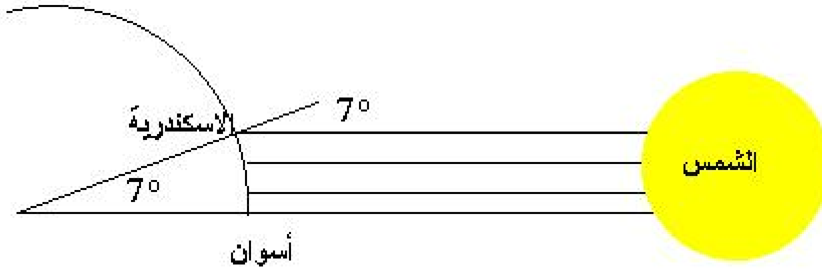
حساب اليونان:

وهو أول حساب مشار إليه في الوثائق التاريخية المتوفرة حالياً. إذ يُذكر أن ايراتوسثينس(276-194 ق.م) Eratosthenes الذي كان يعمل في مصر عام 200 قبل الميلاد، لاحظ اختفاء ظل الشاخص القائم عمودياً على الأرض في مدينة أسوان وقت الظهيرة في يوم 21 حزيران (أي وقت الانقلاب الصيفي)[1] ، بينما وجد أن ظل أي شاخص آخر قائم على الأرض في مدينة الإسكندرية وفي الوقت نفسه يصنع زاوية قدرها 7 درجات مع العمود القائم. وهذا يعني أن أشعة الشمس

---

[1] ويقال أنه كان ينظر في بئر عميقة فوجد صورة الشمس في قعرها فعلم أن الشمس صارت عمودية على ذلك الموقع.

تسقط عمودية تماماً على سطح الأرض في مدينة أسوان يوم 21 حزيران بينما تميل بزاوية قدرها 7 درجات مع العمود على سطح الأرض في مدينة الإسكندرية (أنظر الشكل 7-2).



الشكل (7-2) قياس ايراتوسيثينس لمحيط الأرض

وبافتراضه أن الأرض كروية أصبح من السهل حساب محيط الأرض بدلالة المسافة بين الإسكندرية وأسوان وزاوية ميل أشعة الشمس. ولمّا كانت المسافة بين المدينتين هي 5000 إستاديا تقريباً ومحيط الأرض هو 360 درجة فإن:

	7.2 درجة	تقابل	5000 إستاديا
	360 درجة	تقابل	(محيط الأرض)
إذن	محيط الأرض	=	250000 إستاديا

والأستاديا هي وحدة طول تعدل برأي بعض مؤرخي العلم 157.2 متراً وبرأي آخرين تعدل 166.7 متراً. فإذا أخذنا بالرأي الأول فإن محيط الأرض يكون 39300000 كيلومتر. أما إذا أخذنا بالرأي الثاني فإن محيط الأرض يكون 41750000 متر. وفي كلا الحالين يكون العمل المنسوب إلى أيراتوسثينس عمل دقيق جداً، إذ أن محيط الأرض يقاس في الوقت الحاضر 40072 كيلو متراً. إلا أن بعض المصادر الحديثة تقلل من أهمية المساهمة الحقيقية لعمل ايراتوسثينس إذ

تذكر أنه كان مقصوراً على قياس ظل العمود وقت الانقلاب الصيفي في مدينة الإسكندرية ولم يحسب هو محيط الأرض.

قياس بعثة المأمون:

أخذت دراسات علم الفلك الاتجاه الصحيح على عهد المأمون بن هارون الرشيد (ت 218هـ/833م) حيث دعم هذا الخليفة العلم وأمد العلماء بالمال اللازم لإجراء دراساتهم وأبحاثهم كما شجع ترجمة الكتب من اللغات السريانية واليونانية والفارسية والهندية، وكان مولعاً بعلم الفلك وأمر ببناء المرصد المأموني شرق بغداد وجهزه بما يحتاج من أدوات للرصد الفلكي. ويقال أن المأمون كان يحضر بعض مجالس العلم في هذا المرصد. وقد أصبح علم الفلك في ذلك العصر مثار اهتمام عليّة القوم. ومن أشهر إنجازات عهد المأمون في الفلك قياس محيط الأرض. فقد أرسل المأمون بعثة علمية (يقال أنها ضمت أبناء موسى بن شاكر المنجم ويقال غيرهم) إلى برية جبل سنجار غربي مدينة الموصل بالعراق، فقامت هذه البعثة بقياس ميل نجم القطب الشمالي عن الأفق من موقع معين فوجدوه 35 درجة، فضربوا وتداً في ذلك الموقع. ثم تحركوا شمالاً من موقع الوتد بعد أن ربطوا حبلاً فيه. وظلوا يمشون شمالاً ويربطون الحبال إلى أن أصبحت زاوية ميل نجم القطب تزيد درجة واحدة عن الموقع الأول (أي أصبحت 36 درجة) ، ثم كرروا القياس إلى جهة الجنوب من الموقع الأول ولفترة درجة واحدة أيضاً... ثم قاسوا طول الحبال التي تعدل درجة واحدة من درجات محيط الأرض فكان متوسط طول الحبال هو 56.6 ميل عربي. وبذلك وجدوا أن محيط الأرض (360 درجة) يكون حوالي 20400 ميل عربي ولما كان الميل العربي يساوي 1973.2 متراً، لذلك فإن محيط الأرض وفق هذا الحساب يكون 40252.8 كيلو متر. وهذا التقدير أقرب إلى الصحة من قياسات اليونان.

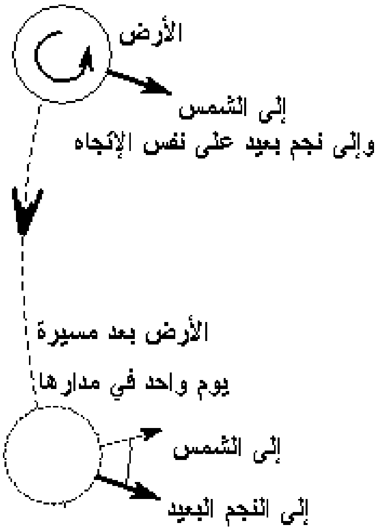
دوران الأرض حول الشمس

تدور الأرض حول الشمس دورة واحدة خلال مدة قدرها 365 يوماً وربع اليوم بالتقريب. وخلال هذه الفترة تمر على الأرض الفصول الأربعة. ولم يكن الناس ليؤمنوا أن الأرض تدور حول الشمس بسهولة ويسر وذلك لظنهم أن حركة الأرض ستؤدي إلى اضطراب ما عليها كما تضطرب الأشياء على سطح السفن عندما تمخر عباب البحار. لذلك فقد تأخر إدراك الإنسان هذه الحقيقة وقتاً طويلاً

الأدلة على دوران الأرض حول الشمس

1. **ظاهرة اختلاف المنظر: Parallax**: وقد تم شرح هذه الظاهرة في الفصل الرابع.

2. زيغ ضوء النجوم: اكتشف برادلي أن الضوء القادم من النجوم يعاني تزيّحاً بسبب حركة الأرض حول الشمس. وهذه الظاهرة مماثلة لحالة حركة قطرات المطر الساقطة عمودياً على سطح الأرض. حيث تظهر هذه القطرات لشخص يسير بسرعة معينة ساقطة بصورة مائلة بزاوية تتناسب طردياً مع سرعة الشخص. إن نفس الظاهرة تحصل لضوء النجوم الساقط علينا عمودياً من القبة السماوية، مما يؤدي إلى ظهور النجوم التي تقع على استقامة الخط العمودي المقام على مستوي الدائرة الكسوفية تزيغ عن مواقعها في دائرة صغيرة جداً لتدور دورة واحدة في السنة.



دوران ألأرض حول نفسها

تدور الأرض حول محور لها يمر بمركزها، ومدة دورانها هذه هي 24 ساعة تماماً وهذه المدة هي **اليوم الشمسي** ويمكن قياسها عملياً بين عبورين للشمس لخط الزوال (أي وقوعها فوق سمت الراصد تماماً) أو بين غروبين متتاليين (وهذا

هو الإصطلاح الإسلامي) أما لو أننا رصدنا عبور نجم ما لخط الزوال وقسنا المدة الزمنية بين عبورين متتاليين لوجدنا أن هذه المدة هي 23 ساعة و 56 دقيقة بالتقريب. وتسمى هذه المدة **اليوم النجومي Sidereal Day**، وهي المدة اللازمة لكي يقابل موقع ما على سطح الأرض موقعاً معيناً (موقع أي نجم) في كرة السماء مرتين متتاليتين.

من الدلائل العملية المباشرة على دوران الأرض حول نفسها حركة **بندول فوكو Focault Pendulum**. فهذا البندول الفرنسي إخترعه جين برنارد فوكو عام 1851م، وهو عبارة عن كتلة كبيرة معلقة بخيط (أو سلك) طويل من سقف مرتفع، بحيث يكون احتكاك الخيط عند نقطة التعليق قليل جداً (شبه معدوم) ليتحرك البندول حركة شبه حرة جيئة وذهاباً. وبسبب القصور الذاتي الذي تملكه كرة البندول لعظم كتلتها، فإنها تتحرك بزخم يجعلها تحافظ على خط مسارها دون تغيير. فإن كانت نقطة التعليق حرة فإن الكرة لن تغير إتجاه مسارها ولن تتأثر بحركة الأرض. وفيما تدور الأرض تؤشر حركة البندول التغير الحاصل في إتجاه البندول نفسه نسبة إلى الأرض تحته (أو حركة الأرض تحته نسبة إلى إتجاه حركته). هذه الحركة النسبية تؤكد دوران الأرض حول نفسها. وتتوفر في العديد من جامعات العالم ومتاحفه الكبيرة نماذج لهذا البندول.

إن توالي الليل والنهار على الأرض لهو دليل على دورانها حول نفسها، وإن كان إدراك الإنسان لهذه الحقيقة قد جاء متأخراً على الرغم من وجود إشارات قرآنية عديدة تستفز الإنسان إلى التفكر في هذه الظاهرة وأولها قوله تعالى: (إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيات لأُولِي الأَلْبَابِ)(آل عمران:190).

وقوله تعالى:(خَلَقَ السَّمَاوَاتِ والأرض بِالْحَقِّ يُكَوِّرُ اللَّيْلَ عَلَى النَّهَارِ وَيُكَوِّرُ النَّهَارَ عَلَى اللَّيْلِ وَسَخَّرَ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ كُلٌّ يَجْرِي لأَجَلٍ مُسَمّىً)(الزمر: من الآية5)

وقوله تعالى: [يُغْشِي اللَّيْلَ النَّهَارَ يَطْلُبُهُ حَثِيثاً وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ وَالنُّجُومَ مُسَخَّرَاتٍ بِأَمْرِهِ أَلا لَهُ الْخَلْقُ وَالأَمْرُ تَبَارَكَ اللَّهُ رَبُّ الْعَالَمِينَ] (لأعراف: من الآية54)

ترنح محور الأرض

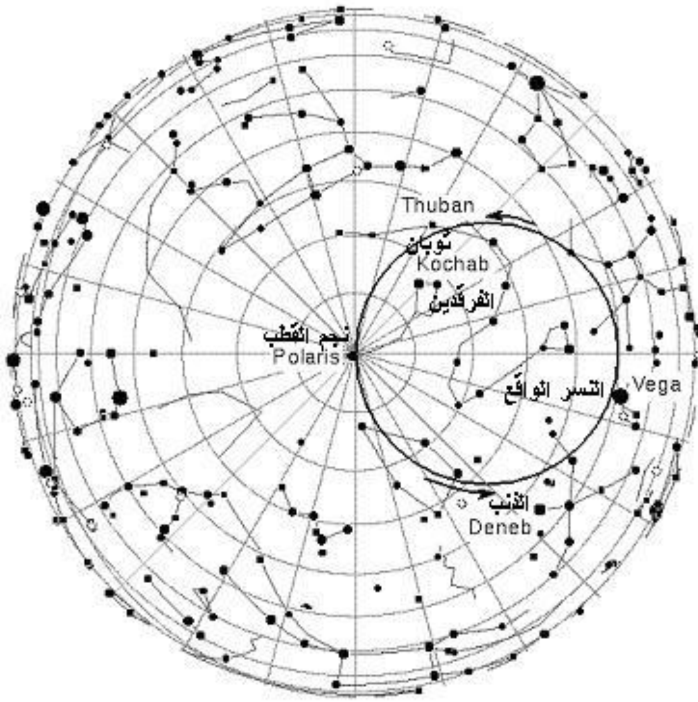
ذكرنا أن الأرض جسم كروي الشكل ذي انبعاج بسيط عن خط الاستواء ويبلغ قطر الأرض عند القطبين 12715 كيلو متر ويكون عن خط الاستواء 12756 كيلو متر. وتقع الشمس والقمر كليهما (مع ملاحظة ميل مدار القمر بخمس درجات) في المستوي الكسوفي Ecliptic Plane الذي يميل على المستوى الاستوائي بمقدار 23.5 درجة. لهذا السبب تتعرض الأرض إلى قوة جذب خاصة من الشمس والقمر تشد محور دورانها ليصبح عمودياً على مستوى الدائرة الكسوفية، (أي تعمل على سحب مواقع القطبين السماويين إلى مواقع القطبين البروجيين). إلا أننا نعلم أن تدوير محور دوران جسم دوار يلاقي مقاومة كبيرة وذلك بسبب اتجاه العزم الدوراني الذي يكون منطبقاً على محور الدوران (وبامكانك التأكد من ذلك بمحاولة بتدوير محول عجلة دراجة هوائية دائرة بسرعة كبيرة إذ ستلاقي مقاومة واضحة)، ونتيجة لهذه المقاومة يدور محور الدوران على محيط دائرة صغيرة يتناسب قطرها مع مقادير العزم الدوراني للجسم الدائرة والقوة الخارجية المسلطة التي تحاول تدوير المحور، ولهذا السبب يتعرض محور دوران الأرض حول نفسها إلى تغيّر تدريجي طويل الأمد على محيط دائرة مركزها القطب البروجي ويسمى هذا التغير الدوري ترنح محور الأرض Precession.



الشكل (7-3) ترنح محور الأرض

أمّا الفترة الدورية للترنح فهي بحسب الارصادات الحالية 25725 سنة، وعلى الرغم من طول هذه الفترة الزمنية إلا أن لها تأثيرات ملحوظة عند رصد قبة السماء على مدى زمني طويل نسبياً، ففي عام 1155 ق.م كان القطب السماوي الشمالي متجهاً إلى نجم Kochab على حين أنه كان على عهد المصريين القدماء في حدود سنة 2700 ق.م متجهاً إلى نجم ثوبان Thuban في كوكبه التنين Draco، وبعد 13000 سنة من الآن سيتجه القطب السماوي الشمالي إلى نجم النسر الواقع Vega وعندئذٍ سيظهر النجم القطبي الحالي بميل قدره 13 درجة.

والآن إذا كان قطبا السماء غير ثابتين تماماً فإن الأمر هو كذلك بما يتعلق بخط الاستواء السماوي أيضاً، ولما كان خط الاستواء السماوي موازياً لخط استواء الأرض فإن هذا معناه تغير نقطتي تقاطع المستوي الكسوفي مع مستوي الاستواء وبالتالي تغير مواقع الاعتدالين (الربيعي والخريفي) والانقلابين (الصيفي والشتوي) وهذا يعني تغير أوقات الفصول الأربعة على مناطق الأرض المختلفة، ومقدار هذا التغير هو 5 ثانية قوسية لكل سنة، أي حوالي درجة واحدة على مدى متوسط عمر الإنسان.



الشكل (7-4) يوضح دوران محور الأرض خلال 25725 سنة

وتقول أغلب المصادر الغربية أن هيبارخوس Hipparchus كان أول من اكتشف ترنح الاعتدالين هذا قبل حوالي 2000 عام إلا أن الكشوفات الآثارية والدراسات التي جرت على الرُّقم الطينية الفلكية البابلية تؤكد بما لا يقبل الشك أن البابليين لاحظوا هذه الظاهرة وسجلوا لها في سجلاتهم . ويؤثر ترنح الاعتدالين هذا في تحديد موقع الشمس على دائرة البروج إذ يعني ترنح الاعتدالين دوران البروج دورة كاملة كل 25725 سنة ، أي أن الدائرة البروجية تتحرك برجاً كاملاً كل 2000 عام بالتقريب.

وهنا لا بد من الإشارة إلى أن تحديد موقع نقطة الاعتدال الربيعي في برج الحمل إن هو إلا أمر اصطلاحي تم تحديده على وقت البابليين قبل أكثر من ألفي سنة، أمّا الآن فإن الشمس تطلع وقت الاعتدال الربيعي في برج الحوت وستتحول إلى برج الدلو في حدود عام 2700م.

أمّا الانقلاب الصيفي فيحصل الآن والشمس في برج الجوزاء وقد كان سابقاً في برج السرطان والانقلاب الشتوي يحصل والشمس في برج القوس (وكان يحصل سابقًاً والشمس في برج الجدي، أي عمودية على برج الجدي).

وقد اعتبر الفلكيون هذا الترنح الاعتدالي دليلاً على خطأ التنجيم فالأبراج التي يتحدث عنها المنجمون هي ما كانت عليه في السابق (قبل عام 450م) أمّا الآن فإنها ولا بد قد أُزحيت برجاً كاملاً وزيادة.

إن ظاهرة ترنح الاعتدالين هذه تؤدي إلى تغير مواقع الأجرام السماوية، وإن الخارطة السماوية وفقاً لذلك تتغير تغيراً بطيئاً، لذلك اتفق الفلكيون عند الحديث عن مواقع الأجرام السماوية على تعيينها وفقاً لفترة أمدها 50 سنة، وفيها تكون مواقع الأجرام الثابتة وهي القبة السماوية ثابتة بإحداثيات تلك الفترة ونحن الآن نغادر إحداثيات الفترة 1950 إلى إحداثيات الفترة 2000 التي ستعتمد لمدة 50 سنة قادمة.

نظراً لتعقيد الحركات السماوية وتغير مستوى استواء الأرض والتغيرات الحاصلة في مدار القمر حولها فإن حركة ترنح محور دوران الأرض حول نفسها ليس حركة منتظمة تماماً بل هي متأرجحة **Oscillating** وبالتالي فإن دوران المحور لا يصنع دائرة كاملة مطلقاً إلا أن هذه التأثيرات قليلة جداً وتأثيرها لا يكون إلا على مدى زمني طويل جداً يُعد بمئات آلاف وملايين السنين.

مكونات الأرض

الماء واليابسة

يغطي الماء حوالي 76% من مساحة سطح الأرض على هيئة بحار ومحيطات. أكبر البحار هو البحر الأبيض المتوسط، وأكبر المحيطات هو المحيط الهاديء. وتعج هذه المساحة الهائلة من المياه بالحياة بمختلف أشكالها وليس غريباً القول أن

البحار أغنى كثيراً من اليابسة كماً ونوعاً. وتلعب هذه المساحة الهائلة من المياه دوراً كبيراً في شخصية الأرض الكونية، فليس معروفاً حتى الآن أية كواكب أخرى تحوي مياهاً سطحية.

التكوين الداخلي للأرض

أجريت دراسات سيزمولوجية معمقة على باطن الأرض ويقرر العلماء أن باطن الأرض مؤلف من الطبقات التالية:

1. القشرة Crust:

وتشمل على سطح الأرض الخارجي الصلب وقيعان البحار والمحيطات ويبلغ سمكها 5 كيلو مترات تحت قاع البحر أمّا في المناطق القارية فإن سمكها يبلغ 48 كيلو متراً.

2. الوشاح Mantle:

ويمتد حتى 2880 كيلو متراً تحت سطح الأرض وهي مكونة من السيليكات الغنية بالمغنيسيوم والحديد. ويسمى الحد الفاصل بين القشرة والوشاح حاجز الموهو.

3. اللب Core: ويقسم إلى قسمين

أ- اللب الخارجي Outer Core:

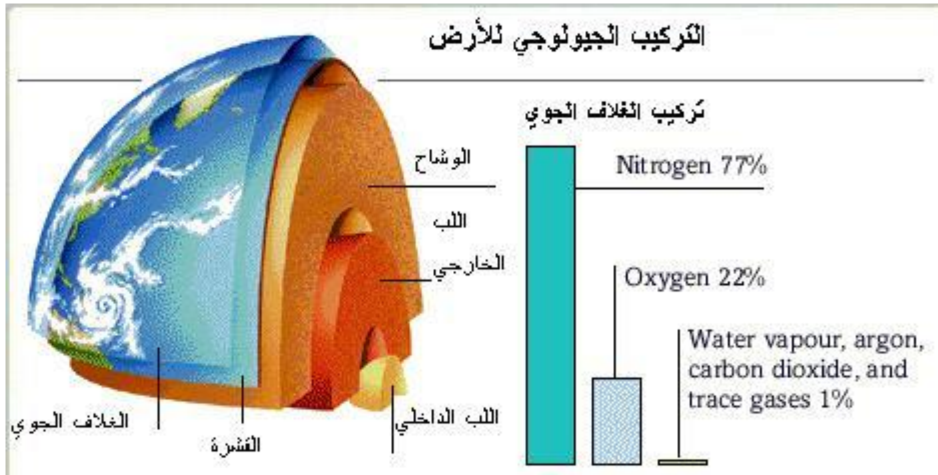
يتراوح عمقه ما بين 2900-5100كم ويعتقد بأنه مكون من النيكل والحديد في حالة سائلة والذي يؤدي دورانه إلى توليد المجال المغناطيسي للأرض.

ب- اللب الداخلي Inner Core

وهو كروي الشكل نصف قطره حوالي 1280كم ويعتقد بأنه مكون من الحديد والنيكل في حالة صلبة.

يدل وجود المعادن الثقيلة في لب الأرض على أنها كانت منصهرة في وقت سابق ثم حصل أن بردت بسبب تسرب الحرارة إلى الفضاء الخارجي وتجمدت المواد المنصهرة تدريجياً وترسبت العناصر الأثقل أولاً ثم الأخف فالأخف عبر عملية تفاضلية Differential Process. وتزداد درجة حرارة باطن الأرض كلما توغلنا داخلها بمعدل درجة واحدة لكل 30 متر.

تبلغ كثافة القشرة الأرضية 3.0غم/سم3 وكثافة طبقة الوشاح 3.5 غم/سم^3، أمّا اللب فتبلغ كثافته 15غم/سم^3. أما متوسط الكثافة فيبلغ 5.5غم/سم^3.



الشكل (7-5) التركيب الجيولوجي للأرض مع تركيب الغلاف الجوي

المناطق الزمنية على سطح الأرض

لغرض تحديد المواقع على سطح الأرض بدقة تم تعريف خطوط للطول هي دوائر عظمى تصل ما بين القطبين الشمالي والجنوبي. وتم الاصطلاح على تعريف مثابة الصفر بالخط المار بقرية كرينج جنوب غربي العاصمة البريطانية لندن، وسمي **خط كرينج**. وتم الاتفاق أيضاً على أن يكون هنالك 360 خط، 180 منها

شرق كرينج ويرمز لها بالحرف E و180 أخرى غرب كرينج، ويرمز لها بالحرف W. أي أن كل خط طول إنما يولف درجة قوسية واحدة. ولمّا كان طول اليوم الشمسي هو 24 ساعة فإن المسافة الزمنية بين خطين متتاليين هي 4 دقائق. أي أن عبور الشمس 15 خطاً طولياً يتم خلال ساعة واحدة. لذلك تمت الإفادة من خطوط الطول هذه لتقسيم العالم إلى **مناطق زمنية Time Zones**، كل منها تمثل 15 خطاً طولياً أي فرق زمني قدره ساعة واحدة. لذلك أصبح توقيت كرينج مثابة للتوقيت. وبموجبه يتم تعريف **التوقيت الدولي Universal Time**.

لكن تحديد أي موقع على سطح الأرض يحتاج إلى بعد آخر لتعريفه. لذلك تم تقسيم كرة الأرض إلى خطوط عرض جملتها 180 خطاً، 90 خطاً منها شمال خط الاستواء ويرمز لها بالحرف N (أي شمال) و180 أخرى جنوب خط الاستواء ويرمز لها بالحرف S (أي جنوب). وبهذا تكون المثابة الصفرية لخطوط العرض هي خط الاستواء. كما تم تسمية خط العرض 23.5 شمال الذي تشرق الشمس عنده يوم الانقلاب الصيفي **مدار السرطان** لأن الشمس تكون في ذلك الوقت في أول برج السرطان. وسمي خط العرض 23.5 جنوب الذي تشرق الشمس عنده يوم الانقلاب الشتوي **مدار الجدي** لأن الشمس تكون فيه في أول برج الجدي.

وبالخلاصة يتم تحديد أي موقع على سطح الأرض بدلالة رقمين أحدهما لخط الطول Longitude والآخر لخط العرض Latitude، واليك أمثلة منها في الجدول (7-1). ولقد أمكن باستخدام التقنيات الفضائية الآن تخصيص منظومة كاملة من الأقمار الصنعية لأغراض الملاحة تسمى Global Positioning System تجوب الفضاء من أجل مساعدة المركبات والسفن والطائرات في البر والبحر والجو. ويمكن الآن باستخدام جهازصغير بحجم الكف، يلتقط الإشارات من الأقمار الصنعية، أن يحدد موقعك على الأرض وبدقة عالية أينما كنت. فلا تحتاج لدليل في مجاهل الصحراء بعد الآن إذا امتلكت مثل هذا الجهاز وخارطة دقيقة.

جدول (7−1) خطوط الطول والعرض لمدن مشهورة

المدينة	خط الطول	خط العرض
مكة المكرمة	39°49`E	21°26`N
القدس الشريف	35°13`E	31°47`N
القاهرة	31°15`E	30° 3`N
واشنطن	77° 0`W	38°55`N
طوكيو	139°45`E	35°40`N
باريس	2°20`E	48°52`N
موسكو	37°42`E	55°45`N
سدني	151°10`E	33°55`S

الغلاف الغازي للأرض

يتضح للباحث الجاد أن الأرض قد خلقت بعناية بالغة جعلها خالقها تتمتع بصفات أساسية تتوفر معها شروط الحياة المتطورة والمتنوعة عليها. ويلعب الغلاف الجوي للأرض دوراً بالغا في تهيئة الشروط اللازمة لديمومة الحياة على الأرض وحفظها من الأخطار المحدقة بها من السماء.

يحيط بالأرض غلاف جوي مميز يؤدي بشكل أساسي وظيفتين هما: امداد الكائنات الحية بما تحتاجه من غازات حيث يعمل كخزان كبير جداً لهذه الغازات. والناتجة هي المحافظة على التوازن الحراري بين الليل والنهار وجعل الفرق بين درجة الحرارة في الليل والنهار قليلاً بما يتناسب مع احتماله من قبل الكائنات الحية. والغلاف الغازي الأرضي (الهواء) يتألف من نسب حجمية متناسبة وكما يلي النتروجين 78% والأكسجين 21% ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والأرغون والأوزون حوالي 1%.

ولعل سؤالاً يبرز في أهمية غاز النتروجين الذي يبدو من غير وظيفة، والحقيقة أن هذا الغاز يعمل على تلطيف الجو من خلال تقليص قابلة الأوكسجين على الأكسدة.. فلو كانت نسبة الأكسجين كبيرة لحصلت الأكسدة سريعاً. ولما أمكن احتفاظ الكائنات الحية بحيويتها.

ويمكن تقسيم الغلاف الجوي إلى أربع طبقات رئيسية هي:

التروبوسفير Troposphere

وتمتد من سطح الأرض حتى ارتفاع 11كم وفيها تحدث معظم تقلبات الطقس وفيها تنخفض درجة الحرارة مع الإرتفاع بمعدل 6 درجة إلى 7 درجة مئوية لكل كيلو متر.

2. الستراتوسفير Stratosphere

وتعرف بالطبقة الهادئة وتمتد من ارتفاع 11 كيلو متر حتى ارتفاع 50 كيلو متر فوق سطح البحر، وحرارتها ثابتة في المناطق السفلى منها وتزداد مع الارتفاع، وتصلح هذه الطبقة للطيران التجاري، ويقل بخار الماء فيها، ويتكون غاز الأوزون بكثرة في مناطقها العليا باتحاد ثلاث ذرات أوكسجين مع بعضها.

3. طبقة الميزوسفير Mesosphere

وتمتد من 50 كيلو متراً حتى 85 كيلو متراً فوق سطح البحر وتتميز بتناقص مضطرد في درجات الحرارة مع الارتفاع حتى تصبح درجة الحرارة أعلى الطبقة بحدود 90 درجة مئوية تحت الصفر، وهذه هي أقل درجة حرارة في الغلاف الجوي.

4. الأيونوسفير Ionosphere

وسمكها يتراوح ما بين 80 إلى 700 كيلو متر وتحتوي على كميات وفيرة من الذرات المتأنية بسبب الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية القادمة من الشمس التي تؤين ذرات الغلاف الغازي. وتتميز هذه الطبقة بأنها تعكس الاشعاعات الراديوية، مما يساعد على نقل الأمواج الراديوية على الأرض.

طبقة الأكسوسفير Exosphere

تبدأ هذه الطبقة عند الحدود العليا للأيونوسفير وتمتد نحو حتى ارتفاع 35000 كيلو متر. وتتميز هذه الطبقة بقلة كثافة الهواء فيها بشكل يجعل جزئياته تتحرك مسافات كبيرة جداً قبل أن تتصادم مع بعضها، وفي الحدود العليا من هذه الطبقة تتمكن جزئيات الغلاف الجوي من الإفلات إلى الفضاء الخارجي، فتبتعد إلى غير رجعة.

وبالجملة يمكن القول أن الغلاف الجوي الفعال يمتد إلى ارتفاع بحوالي 200 كيلومتر، بعدها تكون كثافة الهواء قليلة جداً. يولد عمود الهواء المتمثل بالغلاف الجوي للأرض ضغطاً على سطح الأرض يبلغ حوالي 1 كيلوغرام لكل سنتيمتر مربع عند سطح البحر. ويقل الضغط الجوي مع الارتفاع.

تطور الغلاف الغازي للأرض

كان الغلاف الغازي للأرض في أول عهد تكوينها يتألف من الغازات الخفيفة الشائعة في النظام الشمسي وهي غازات الهيدروجين والهيليوم والميثان والأمونيا وبخار الماء . لكن معظم هذه الغازات الخفيفة هربت من جو الأرض بفعل ارتفاع درجة الحرارة وضعف جاذبية الأرض حيث تبلغ سرعة الافلات عن سطحها بحدود 11 كيلومتر في الثانية.

لكن البراكين التي كانت نشطة على سطح الأرض زودتها بغلاف جوي جديد غني ببخار الماء ويتألف من ثاني أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت ومركبات النتروجين. وحين بردت الأرض تدريجياً تكاثفت كيات الهائلة من بخار الماء وتحولت إلى بحار ومحيطات تغطي أكثر من ثلاثة أرباع سطح الأرض. وهكذا ذابت كميات كبيرة من ثاني أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت في تلك المياه. كما اتحد قسم منها مع الصخور. أما بالنسبة للأوكسجين الذي كان يخرج من البراكين فإنه سرعان ما كان يتحد مع المعادن الأخرى التي في قشرة الأرض مكوناً الأكاسيد المختلفة. وقد

أدت الأشعة لكونية من تحرير النتروجين من المركبات الكيمياوية التي تحتويه وبالتالي أدى ذلك إلى زيادة نسبته في الغلاف الغازي وقيامه بتثبيط معدلات الأكسدة. مما أتاح للجزء المتبقي من الأوكسجين بتزويد التكوين النبتي والأشنات الهائلة في البحار والمحيطات بالطاقة وهذه بدورها صارت تنتج الأوكسجين في عمليات التركيب الضوئي. هذه الوفرة الأوكسجينية أدت إلى تكوين طبقة من غاز الأوزون وهو عبارة عن جزيئات ثلاثية من الأوكسجين. فقامت طبقة الأوزون بتقليل كثافة الأشعة الكونية وباتالي توفير الحماية اللازمة للنشاط الخلوي الحيوي. مما أدى إلى انتشار الحياة النباتية على سطح الأرض وتطورها بشكل سريع. وعلى هذا يعتقد علماء البيئة أن معظم الأوكسجين المتوفر في جو الأرض هو نتاج لتطور الحياة على سطح الألاض، وليس العكس كما يظن المرء لأول وهلة.

ينطبق الوصف آنف الذكر على ما حصل للغلاف الغازي لكوكبي المريخ والزهرة. ولهذا السبب نجد أنه في كلا الحالين لدينا وفرة كبيرة في غاز ثاني أوكسيد الكربون. ولربما كان قرب الزهرة من الشمس سببا في هروب جزيئات بخار الماء من جوها مما أدى بالتالي إلى غياب المحيطات على سطحها. أما بالنسبة للمريخ فلربما كانت النسبة القليلة من المياه المتوفرة فيه قد غارت إلى أعماقه لبرودة سطحه حيث لا تتحقق دورة للمياه عليه كما هو الحال على الأرض.

فضائل الغلاف الغازي للأرض

إن للغلاف الجوي الذي يحيط بالأرض فوائد مهمة جداً هي في معظمها تستهدف حماية الأرض من أخطار الفضاء وهذا دليل على العناية الإلهية بالأرض بسبب كونها مهد الحياة. . وتتلخص هذه من هذا إلى أن الغلاف الجوي يحفظ الأرض من المخاطر التالية:

حماية الأرض ومن عليها من النيازك (الكِسف) الحارقة وذلك بتبخير معظم كتلتها في الغلاف الجوي بسبب الاحتكاك مع جزيئات الهواء.

حفظ الأرض من أخطار الأشعة الفوق البنفسجية وأشعة -X المسببة للسرطان وذلك بامتصاصها في طبقة الأوزون.

حفظ الأرض من خطر الرياح الشمسية التي هي أيونات سريعة قاتلة، وذلك بواسطة المجال المغناطيسي للأرض.

حفظ حرارة الأرض من التبدد ليلاً بحبس الأشعاعات تحت الحمراء. وإلا لكان الفرق بين حرارة الليل والنهار كبير جداً ولا يطاق.

نشر ضوء الشمس لتمكين الكائنات من إبصار الأشياء بيسر.

وقد أشار سبحانه وتعالى إلى إلى دور النهار في نشر ضوء الشمس في الآيات التالية:

[وَالشَّمْسِ وَضُحَاهَا* وَالْقَمَرِ إِذَا تَلاهَا* وَالنَّهَارِ إِذَا جَلاهَا] (الشمس:1-3)

وذلك أن النهار هو الذي يجلّي الشمس أي ينشر ضوءها بوجود الغلاف الجوي وبدونه ستبدو الشمس للناظر قرصاً ابيض مائلاً إلى الصفرة، ويبدو الفضاء مظلماً. فالأصل في الكون الظلمة. وفي هذا السياق يمكن أن نفهم معنى قوله تعالى:

[**وَآيَةٌ لَهُمُ اللَّيْلُ نَسْلَخُ مِنْهُ النَّهَارَ فَإِذَا هُمْ مُظْلِمُونَ]** (يّس:37)

حيث استخدم الله تعالى لفظة (نسلخ) لأن الغلاف الجوي رقيق إذ يبلغ سمكه بحدود 200 كيلومتر فقط، بينما قطر الأرض هو بحدود 12000 كيلومتر. والسلخ في اللغة فصل الجلد الرقيق عن البدن السميك. وهكذا هو لأمر حين ينتزع ضوء النهار من جو الأرض بغياب الشمس.

لون السماء

وجد الفيزيائي رايلي أن جزئيات النتروجين والأكسجين في الهواء هي المسؤولة عن لون السماء. ذلك أنه وجد أن نسبة الضوء المتشتت في الغلاف الجوي للأرض تتناسب عكسياً مع القوة الرابعة للطول الموجي، أي كلما قصر الطول الموجي كان مقدار التشتت أعظم، ولما كان أقصر طول موجي في النطاق المرئي هو الأزرق، فإن هذا اللون يعاني أعظم تشتت لذلك تظهر السماء الصافية زرقاء.

أمّا عند غروب الشمس فإن السماء تبدو حمراء جهة الغروب خاصة، وسبب ذلك أن الضوء القادم من الشمس يقطع مسافة كبيرة خلال الغلاف الجوي الذي يُشتت اللون الأزرق بينما يكون اللون الأحمر الأقل تشتتاً وبالتالي يمر من الغلاف الجوي دون أن يتشتت. لذلك تظهر السماء حمراء وقت الغروب.

والغلاف الجوي هو المسؤول أيضاً عن ظاهرة ضوء الشفق عند الفجر قبل شروق الشمس وبعد الغروب.

ظاهرة البيت الزجاجي وارتفاع درجة حرارة الأرض

من المعروف أن وجود ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي للأرض يؤدي إلى حبس الاشعاعات الحرارية النافذة إليها من الشمس. وسبب ذلك هو أن حجم جزيئة ثاني أوكسيد الكربون قريب من الطول الموجي للإشعاعات الحرارية. وكلما ارتفعت نسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون في الجو تزايدت قدرته على حبس الاشعاعات الحرارية . كما أن هنتالك غازات أخرى يدخل فيها مركبات الكربون والفلور وتسمى جميعاً المركبات الكلورية الفلورية الكربونية Chloro-Floro-Carbon ويرمز لها مركبات CFC هذه المركبات تسبب حبس الاشعاعات الحرارية في جو الأرض مما يؤدي إلى حصول ما يسمى ظاهرة البيت الزجاجي Green House Effect ، وذلك لأن البيوت الزجاجية تُحدث نفس التأثير. مما يؤدي بالتالي إلى ارتفاع معدل درجة حرارة الأرض والقضاء على كثير من الأنشطة الحياتية، النباتية

والحيوانية، عليها. فضلاً عن ذلك فن هذه المركبات تؤدي إلى تخريب طبقة الأوزون. وفعلاً فقد أدى تزايد استخدام مركبات CFC إلى إحداث ثقب في طبقة الأوزون فوق منطقة القطب الجنوبي. مما أدى إلى تزايد نسبة حصول سرطانات الجلد في استراليا ونيوزيلندة.

لذلك قامت جهود دولية من أجل تقليص انتاج في جميع أنحاء العالم CFC وفعلاً أثمرت هذه الجهود عن نتائج طيبة على صعيد ترميم جزئي لطبقة الأوزون. لكن ما يراد عمله على صعيد حماية بيئة الأرض كثير جداً قياساً بما هو متحقق. وسبب تدهور البيئة هو على الحقيقة اساءة الناس إليها من خلال جشعهم الاستهلاكي الشنيع والمتصاعد دائماً وفق التربية الرأسمالية التي تحرص عليها الرأسمال الجشع الذي لا يهتم إلا بتراكم الأرباح وتحقق دورة رأس المال بمعدلات أعظم باستمرار. وهذا الهوس المادي الشيطاني لن يقود إلا إلى الهلاك والدمار لأن الاستهلاك هو طلب الهلاك. كما أن الإستغفار هو طلب المغفرة وكما أن الاستغناء هو طلب الغنى.

تأثير الغلاف الجوي على مواقع الأجرام السماوية

نظراً لأن للغلاف الجوي كثافة تتزايد كلما اقتربنا من سطح الأرض فإنه يعمل كوسط له معامل انكسار متغير يتزايد كلما اقتربنا من سطح الأرض، وهذا يعني أن مسار الضوء خلال الغلاف الجوي سيكون منحنياً وليس خطاً مستقيماً مما يؤدي بالنتيجة إلى ظهور الأجرام السماوية في غير مواقعها الأصلية، ولهذا السبب ذاته تظهر الشمس في الأفق قبيل وقتها بدقيقتين وثلث الدقيقة. وكذا بالنسبة لوقت غروبها فهي تتأخر دقيقتين وثلثا أيضاً، مما يعني أن النهار في العادة يزيد بفترة 4 دقائق وثلثي الدقيقة عن وقته الحقيقي. هذه الملاحظة مهمة جداًً لتحديد الأوقات الشرعية.

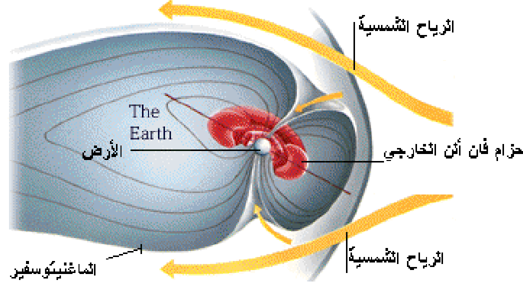
المجال المغناطيسي للأرض

تتصرف الأرض جملة وكأنها قضيب مغناطيسي أو كأن بداخلها قضيب مغناطيسي يمتد من الشمال إلى الجنوب بميل قدره 12 درجة على محور دورانها، ويعود أصل هذا المجال إلى وجود تيارات للحديد المنصهر المتأين في لبها الخارجي. والذي يخضع لحركة تدوير سريعة جداً، ناشئة عن دوران الأرض حول نفسها، مما يؤدي إلى تولد تيارات كهربائية كبيرة. وبحسب قانون أمبير في المغناطيسية فإن حركة التيارات الكهربائية تولد بالضرورة مجالات مغناطيسية تتناسب شدتها مع شدة التيار الكهربائي. وهذا ما يحصل في باطن الأرض.

إن المجال المغناطيسي يتغير مع الزمن ويُعتقد بأن المجال المغناطيسي الأرضي يغير اتجاهه من الشمال إلى الجنوب وبالعكس كل خمسة آلاف سنة تقريباً. ويقال أن تغير المجال المغناطيسي يحصل خلال فترة قصيرة إذ ينكمش المجال المغناطيسي إلى نقطة الصفر ثم يندفع ثانية وقد تغيرت الأقطاب المغناطيسية أحدها مكان الثاني. ولا أحسب هذا حاصلاً إلا إذا توقفت التيارات الأيونية الساخنة في باطن الأرض وحصل مثل هذه الظاهرة أمر عجيب. وفي الحقيقة لا يعرف لهذه الظاهرة سبباً واضحاً حتى الآن.

ويمتد المجال المغناطيسي الأرضي خلال النصف المحيط بها ليؤلف حزامين مانعين من الجسيمات المؤينة ذات الطاقة العالية القادمة من الشمس، والتي تسمى الرياح الشمسية، فيجرفانها عن مساراتها حفظاً للأرض من الأذى الذي يمكن أن تسببه هذه الرياح الشمسية. وتسمى هذه الأحزمة أحزمة فان ألن Van Allen Belts ، ويوجد أولها (الداخلي) على بعد 3200 كيلو متر والآخر(الخارجي) على بعد 16000 كيلو متر من سطح الأرض. توفر هذه الأحزمة حماية للأرض من شر الجسيمات المتأينة وأذاها. يقول الله تعالى: **[وَزَيَّنَّا السَّمَاءَ الدُّنْيَا بِمَصَابِيحَ وَحِفْظاً ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ]** (فصلت: من الآية12).

فهذه الأحزمة هي من الحفظ الذي قدره الله تعالى للأرض.



الشكل (7-9) أحزمة فان ألن

وتدور الجسيمات المحتجزة في حزامي فان ألن بشكل حلزوني مع خطوط المجال المغناطيسي للأرض وفي هذه الحالة تكتسب تسارعاً يؤدي إلى ظهور ضياء يسمى **الشفق القطبي Aurora** والذي ينتج عن توهج جزيئات الهواء المتأينة عندما تتفاعل معها الدقائق المشحونة لتظهر بألوان زاهية جميلة على شكل (ستائر) عمودية على سطح الأرض وكأنها أعمدة نور نازلة من السماء. ويشاهد الشفق القطبي بوضوح في مناطق العروض العليا. وفي المناطق القطبية الجنوبية.



الشكل(7-10) صورة توضح الشفق القطبي

الفصل الثامن

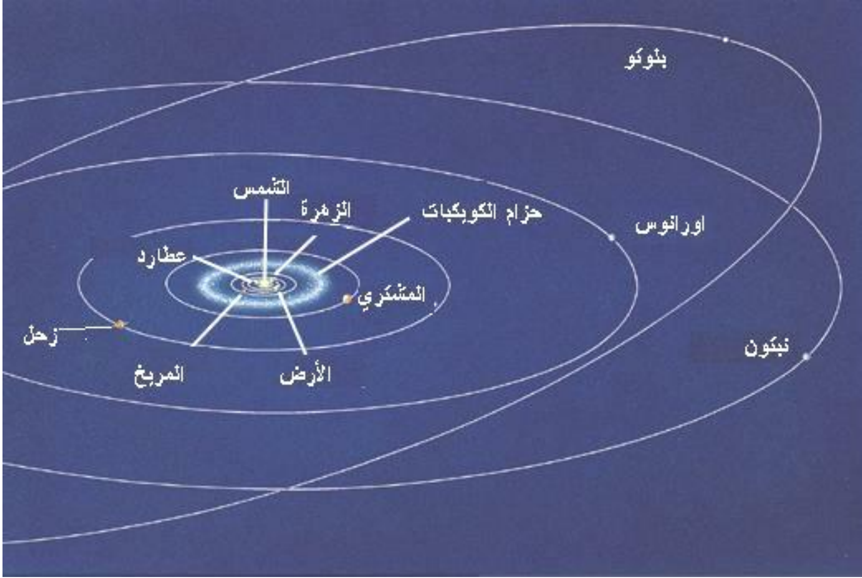
كواكب المنظومة الشمسية

مدارات الكواكب

تتألف المنظومة الشمسية من الشمس والأجرام التي تطوف حولها. وأهم هذه الأجرام الكواكب السيارة التسعة وهذه الكواكب مرتبة بحسب بعدها عن الشمس هي: عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، اورانوس، نبتون، وبلوتو. وتشتمل المنظومة الشمسية أيضاً على كويكبات ومذنبات وأقمار الكواكب وغبار كوني وغازات. هذه هي أفراد الأسرة الشمسية المعروفة الآن. بعض هذه الكواكب كرات صخرية جرداء وبعضها الآخر مكون من جليد في معظمه، والغلاف الجوي لبعضها رقيق بارد جداً لذا تتبلور الغازات الموجودة وتبدو كالثلج على سطوحها، ولبعضها غلاف جوي ذي قوام سميك متماسك. وهناك على المريخ يظهر بركان خامد فوق صحراء، وعلى اورانوس بحر محيط عمقه آلاف الأميال تجيش تحت سحب سامة.

إن لمعظم الكواكب السيارة أجراماً مرافقة أصغر منها حجماً تدور حولها وتسمى **أقماراً أو توابع Satellites** ، فالأرض لها قمر واحد وللمريخ قمران وللمشتري خمسة وعشرون قمراً، ولزحل ثمانية عشر قمراً، ولاورانوس خمسة عشر قمراً، ولنبتون ثمانية أقمار، ولبلوتو قمر واحد، وأما عطارد والزهرة فلم يكتشف لهما أقمار لحد الآن. ويلاحظ أن كتل الأقمار عادة تكون أصغر كثيراً من كتل الكواكب التي تدور حولها باستثناء قمر الأرض الذي تبلغ كتلته 0.012 من كتلة الأرض وقمر بلوتو الذي تبلغ كتلته 0.2 من كتلة الكوكب.

تدور جميع كواكب الأسرة الشمسية في مدارات إهليجية (قطع ناقص Ellipse) تقع الشمس في إحدى بؤرتيها ، أنظر الشكل(8-1). لمدارات الكواكب نقطتان أحدهما يكون فيها الكوكب على أبعد ما يكون من الشمس وتسمى هذه نقطة **الأوج Aphelion** والثانية يكون فيها الكوكب على أقرب ما يكون من الشمس وتسمى هذه نقطة **الحضيض Perihelion** .



الشكل (1-8) المدارات الإهليجية للكواكب

لا تدور الكواكب حول الشمس في مستوي واحد بل تدور في مستويات متفاوتة لكن معظم هذه المستويات تميل عن فلك البروج (وكذلك عن الدائرة الكسوفية Ecliptic) بضع درجات قليلة (أنظر الشكل 8-1). لذا يرى الراصد الحركة الظاهرية للكواكب واقعة ضمن نطاق ضيق هو أشبه بممر على كرة السماء يبدأ من الشرق وينتهي في الغرب.

تخضع جميع الكواكب والأقمار في ضبط حركاتها حول الشمس إلى قوانين كبلر الوارد ذكرها سابقاً. وتكون سرعة الكوكب أعظم ما تكون في نقطة الحضيض وتكون على أقل ما تكون في نقطة الأوج. وعموماً تكون سرع الكواكب القريبة من الشمس أكبر من سرع الكواكب البعيدة عنها. لذلك تكون فترة دوران الكواكب البعيدة عن الشمس أطول كثيراً من فترة دوران الكواكب القريبة منها، أنظر الجدول (2) في الملحق.

تصنيف الكواكب و حركتها

تصنف الكواكب بحسب مواضعها من الأرض والشمس إلى صنفين:

الكواكب الداخلية: Inferior Planets عطارد والزهرة.

الكواكب الخارجية: Superior Planets وهي المريخ والمشتري وزحل واورانوس نبتون وبلوتو.

وتصنف الكواكب بحسب حجومها وكتلها إلى صنفين أيضاً وهما:

الكواكب الأرضية: Terrestrial Planets وهي الكواكب الشبيهة بالأرض من حيث و حجومها وكتلها وتركيبها وهي: عطارد والزهرة والأرض والمريخ وبلوتو.

الكواكب العملاقة (المشتريّة): Jovian Planets وهي الكواكب الشبيهة بالمشتري من حيث حجومها وكتلها وتركيبها، وهي: المشتري وزحل واورانوس ونبتون.

يُظهر الرصد الفكي لكوكبي عطارد والزهرة ظهورهما **بأطوار Phases** مماثلة لأطوار القمر وسبب ذلك كونهما كوكبان داخليان ولا تحصل هذه الظاهرة مع بقية الكواكب.

متسلسلة بود Bode Series

لاحظ بود أن توزيع الكواكب السيارة حول الشمس يتبع بالتقريب متسلسلة مميزة إذا ما كتبت أبعاد الكواكب باوحدات الفلكية. فلو أننا كتبنا المتسلسلة التالية

384	192	96	48	24	12	6	3	0

ثم لو أضفنا لكل رقم من هذه المتسلسلة العدد 4 لوجدنا

388	196	100	52	28	16	10	7	4

ثم لو قسمنا كل رقم منها على 10 لوجدنا ما يلي

0.4	0.7	1.0	1.6	2.8	5.2	10.0	19.6	38.8

عرفت هذه الأرقام بإسم متسلسلة بود.

والآن لو قارنا أبعاد الكواكب السيارة بالوحدة الفلكية لوجدنا مايلي

عطارد	الزهرة	الأرض	المريخ		المشتري	زحل	اورانوس	نبتون	بلوتو
0.38	0.72	1.0	1.52		5.20	9.53	19.16	30.06	39.53

يتضح من المقارنة أن هنالك تطابق متقارب بين أرقام متسلسلة بود وأبعاد الكواكب، ما خلا كوكبي نبتون وبوتو إذ يبدو أنهما يشذان عن القاعدة. ومن الطريف أن نشير إلى أن الموقع الخامس في متسلسلة بود يحتوي الرقم 2.8 وعلى هذا البعد من الوحدات الفلكية يكون متوسط بعد حزام الكويكبات. ولا يوجد أي تفسير مقبول للمصادفة التي تقدمها متسلسلة بود حتى الآن، لكن من الممكن أن يكتشف الفيزيائيون قانونا دفيناً تم بموجبه توزيع الكواكب حول الشمس.

عطارد

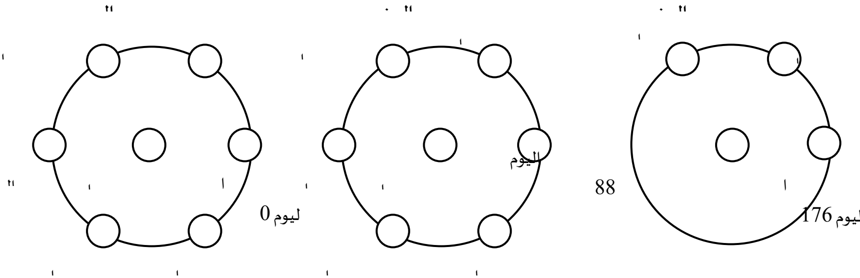
عطارد هو أصغر كواكب المنظومة الشمسية حجماً وكتلةً باستثناء بلوتو كما أنه أقرب الكواكب إلى الشمس. يبعد عطارد عن الشمس بالمتوسط مسافة مقدارها 57.9 مليون كم تقريباً، ويبلغ قطره حوالي 4880 كم، أي حوالي 0.38 من قطر الأرض أمَّا كتلته فهي بالتقريب 20/1 في كتلة الأرض، وكثافته مساوية تقريباً لكثافة الأرض أي حوالي 5.5غم/سم3. وهو أسرع الكواكب حركةً حول الشمس إذ يبلغ معدل سرعته المدارية 48 كم /ساعة، ويمتاز هذا الكوكب بعدم وجود توابع له.

إن مدار كوكب عطارد مفلطح بدرجة كبيرة وذلك يعني تفاوت مسافتي الحضيض والأوج تفاوتاً كبيراً حيث تبلغ مسافة الحضيض 46 مليون كيلومتر تقريباً بينما تبلغ مسافة الأوج 70 مليون كيلومتر تقريباً. ويميل مدار عطارد على مستوي الدائرة الكسوفية بزاوية مقدارها 7 درجات تقريباً .

حركته

يدور عطارد حول نفسه ببطء شديد حيث يبلغ الزمن اللازم لدورة واحدة كاملة حول محوره 58.646 يوم أي ما يعادل ثلثي مدة دورته حول الشمس والتي أمدها 87.969 يوماً، أي أنه يدور حول نفسه ثلاث مرات كلما دار حول الشمس دورتين كاملتين.

إن الدوار الغريب لعطارد حول نفسه يكسبه يوماً شمسياً طويلاً جداً (وهو الفترة بين شروقين للشمس متتاليين) يصل إلى 176 يوماً أرضياً.



الشكل (7-4) يدور كوكب عطارد حول نفسه ثلاث دورات في الوقت الذي يدور به حول الشمس دورتين

سطح عطارد

سطح عطارد يشبه سطح القمر حيث أن العديد من الحمم البركانية المتجمدة تملأ الكثير من الفوهات البركانية الموجودة عليه وتؤدي إلى تشويه

سطحه، وهناك أيضاً منحدرات شاهقة تشكلت عندما انزاحت القشرة وهذه تمتد لمئات الكيلومترات على سطحه، وأن هذه المنحدرات تكونت خلال برودة سطح الكوكب وتقلصه، وإن سطحه شبيه بتفاحة جافة فقدت نضارتها، وأن لكوكب عطارد مظاهر تضاريسية غريبة تقع عند حافة الكوكب البعيدة عن حوض كالوريس، يعتقد أنها نشأت عن أمواج زلزالية تولدت بفعل التصادم الذي أدى إلى تكوين حوض كالوريس، حيث عندما انتشرت هذه الأمواج حول عطارد تقاربت عند حافته البعيدة رافعة بذلك الصخور.

غلافه الجوي

يمتلك كوكب عطارد غلافاً جوياً رقيقاً جداً يتألف من الهيدروجين والهليوم الذي اصطاده الكوكب مما تقذف به الشمس بين حين وآخر ويبلغ الضغط الجوي على سطح عطارد 8-10 وهذا شبه فراغ. ويعزى غياب الغلاف الجوي لكوكب عطارد إلى ضئالة جاذبيته وإرتفاع حرارة سطحه مما يُكسب جزيئات الغازات سرعاً علية تمكنها من الافلات من الكوكب.

درجة حرارته

إن سطح عطارد يعتبر من أشد سطوح كواكب المجموعة الشمسية حرارةً وذلك لقربه الشديد من الشمس، حيث أن درجة حرارته تقارب حوالي (600 كلفن) عند خط استوائه أي حوالي (427م) أمَّا درجة الحرارة ليلاً فهي أبرد درجة حرارة سطح في المجموعة الشمسية حيث أنها تهبط إلى100 كلفن (173 مئوية تحت الصفر). وإن سبب هذا التفاوت الكبير في الحرارة هو قربه من الشمس وعدم وجود غلاف جوي له، وعلى الرغم من ارتفاع درجة الحرارة عند خط استوائه فإن قطبيه باردان جداً، حيث أن أشعة الشمس تسقط عليهما بزاوية مائلة جداً حيث أن القطبين لا يستقبلان إلا قدراً قليلاً من الطاقة الحرارية وإن

انعدام الغلاف الغازي ساعد على عدم توزيع الحرارة لذا يظهر القطبان وكأنهم مكسوان بجليد.

مجاله المغناطيسي

المجال المغناطيسي لكوكب عطارد ضعيف جداً حيث أنه يعادل 0.01 من شدة المجال المغناطيسي للأرض. والمعروف أن كوكب عطارد يدور حول نفسه ببطء وإن حجمه صغير، لذا يعتقد العلماء أن كوكب عطارد يفتقد عنصرين أساسيين لتوليد الحقل المغناطيسي القوي، ويعتقد أن المجال المغناطيسي الضعيف لعطارد ناتج عن التيارات الكهربائية المحتثة المتولدة عندما يقطع كوكب عطارد الرياح الشمسية (Solar Wind) أثناء حركته حول الشمس.

رصد كوكب عطارد

يظهر كوكب عطارد عند النظر إليه من الأرض بواسطة التلسكوب مائلاً إلى الاصفرار وربما أمكن رؤيته بالعين المجردة في سماء صافية وحالكة السواد حين يكون الكوكب عالياً، ونظراً لأن مداره حول الشمس يقع داخل مدار الأرض، فإن هذا الكوكب يُرى دائماً في مواضع قريبة من الشمس، أي أن عطارد يُرى في جهة المشرق قبيل الشروق ونُطلق عليه نجم الصباح أو يرى من جهة الغرب بعيد الغروب ويُطلق عليه نجم المساء.

إن رصد عطارد في غاية الصعوبة لأنّه لا يظهر إلا لوقت قصير فوق الأفق ولأنه قريب من الأفق فإن ضباب الأرض يؤثر على رصده كثيراً.

الزهرة

كوكب الزهرة هو ثاني كوكب من حيث بعده عن الشمس وهو أقرب الكواكب إلى الأرض وهو يشبه كوكب الأرض، فالزهرة مماثلة من حيث الحجم للأرض ولكنها تختلف اختلافاً كبيراً عن الأرض من حيث خصائص السطح والغلاف الجوي،

والزهرة كوكب ساطع جداً بسبب إنعكاسيته العالية التي تبلغ 76% والناتجة عن غلافه الجوي السميك ويعتبر أسطع الكواكب التي نشاهدها في السماء عندما يكون بدراً.

يبعد كوكب الزهرة عن الشمس 108 مليون كيلومتر(أي 0.72 وحدة فلكية) وحجمه نفس حجم الأرض تقريباً فقطره يبلغ حوالي (12110كم) (0.95 من قطر الأرض) ولذلك يعرف كوكب الزهرة باسم توأم الأرض. وإن كتلته (4.87 × 1024 كيلو غرام)، وكثافته 5.24 غم/سم^3، ونظراً لأن الزهرة أقرب إلى الشمس من الأرض لذا فإن سرعتها المدارية أكبر من سرعة الأرض المدارية وتبلغ 35 كم / ساعة، وليس كوكب الزهرة توابع.

الغلاف الجوي للزهرة

يتركب الغلاف الجوي للزهرة من 96% من ثاني أو كسيد الكاربون، وقد عُرف ذلك من دراسة طيفه وهناك إضافة إلى ثاني أوكسيد الكربون أن 35% من غلاف الكوكب تألف من غاز الأوزون ومن كميات قليلة من بخار الماء وغازات أخرى وإن سمك الغلاف الجوي للزهرة يبلغ حوالي 80 كم.

أمَّا ضغط الغلاف الجوي للزهرة فهو عالٍ جداً ويبلغ 90-100 مرة بقدر الضغط الجوي للأرض، وهذا يمنع أجهزة الإرسال للسفن الفضائية من العمل على سطحه، وتعمل الغيوم على عكس نسبة كبيرة من أشعة الشمس الساقطة على الكوكب، وتتألف الغيوم من قطرات من حامض الكبريتيك أو شوائب دخانية من أصل بركاني.

درجة حرارته

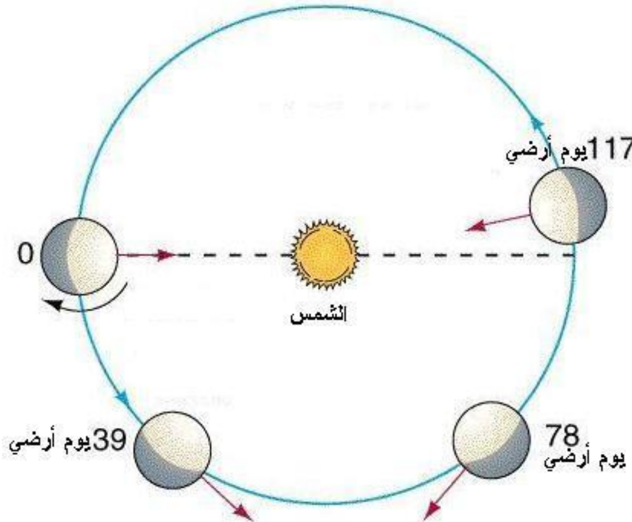
إن وجود الغاز الكثيف المكون من غاز ثاني أكسيد الكربون يحفظ سطح الكوكب على درجات حرارة عالية جداً، حيث يعمل الغلاف الجوي عمل البيوت

الزجاجية ويقوم بحفظ الطاقة الشمسية التي تخترق الغلاف بداخله مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة السطح وتتراوح درجة حرارة سطح الزهرة بين 420م° إلى 520م°.

دوران الزهرة

إن كوكب الزهرة يدور حول نفسه ببطء حيث يستغرق مدة 225 يوم حتى تنجز دورة واحدة، وإنه يدور تراجعياً أي باتجاه عقارب الساعة على عكس دوران الكواكب الأخرى، وقد اكتشفت هذه الخاصية عن طريق الرصد الراداري للكوكب. إن الدوران البطيء والتراجعي للزهرة جعل الفلكيين يفترضون أنه تعرض بعد ولادته بزمن قصير للصدم بنواة كوكبية هائلة مما خفض سرعته ثمّ جعله يدور باتجاه معاكس.

إن هذا الدوران البطيء جعل اليوم الشمسي على الكوكب طويلاً جداً ويقارب 117 يوماً أرضياً وإن الشمس تشرق عليه من الغرب وتغرب في الشرق نتيجة لدوران الكوكب التراجعي.



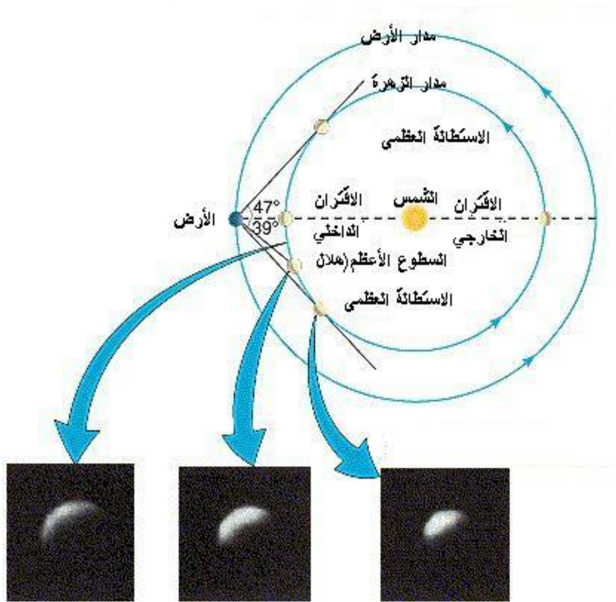
الشكل (5-8) دوران كوكب الزهرة حول نفسه وحول الشمس

رصد كوكب الزهرة

الزهرة من أجمل كواكب المنظومة الشمسية تظهر ببياضها البراق الناصع في العشيّات بعد الغروب أو تظهر فجراً قبيل الشروق، وفي كلا الحالين تمكث في السماء وقتاً يعتمد على مقدار استطالتها الشرقية والغربية.

أطوار الزهرة

لكوكب الزهرة أطوار مثل أطوار القمر تنشأ بسبب موقعه من الأرض والشمس وتعتمد على مقدار استطالته والشكل التالي يوضح ذلك.



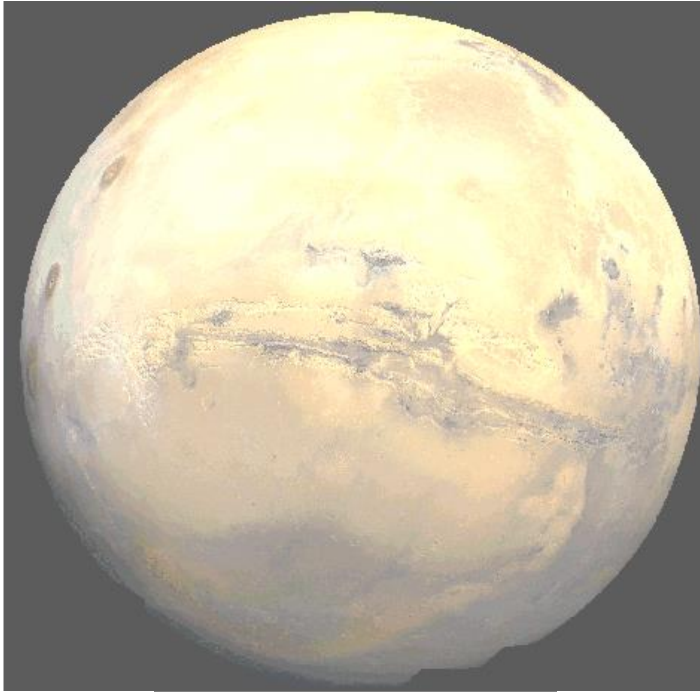
الشكل(6-8) أطوار كوكب الزهرة وموضعه من الأرض والشمس

المريخ

المريخ هو الكوكب الرابع من حيث بعده عن الشمس ويقع بين الأرض والمشتري ويقترب من الأرض كثيراً كل حوالي (15 سنة) حتى تصبح المسافة بينهم (55 مليون كم). وعند مقارنة كوكب المريخ بكوكبي عطارد والزهرة نجد أن المريخ أكثر شبهاً بالأرض علماً أن قطره لا يتجاوز نصف قطر الأرض وكتلته تقارب عُشر كتلتها ومعدل كثافته 3.96 غم/سم3 وسرعة الافلات من الجاذبية (5 كم/ثا).

حركته

يدور كوكب المريخ حول الشمس في مدار اهليجي حيث يبلغ بعده عندما يكون في الحضيض (250) مليون كيلومتراً وعندما يكون في الأوج حوالي (270) مليون



الشكل (8-7) صورة لكوكب المريخ

كيلومتراً ومتوسط بعده عن الشمس هو (1.52) وحدة فلكية وفترة دورانه حول الشمس هي(687 يوم)، أما فترة الدوران حول محوره فهي(24 ساعة، 37 دقيقة، 22.6 ثانية) وهي عكس عقارب الساعة من الغرب إلى الشرق وإن معدل سرعته المدارية 24 كم/ساعة.

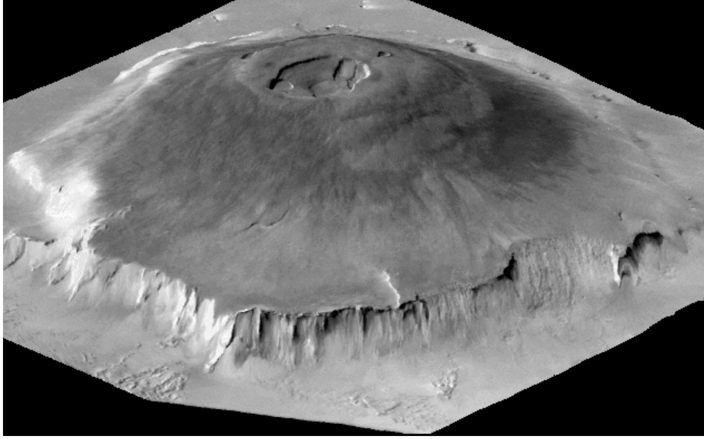
سطح المريخ

تدل الصور المأخوذة من المراكب الفضائية أن الكوكب ذا لون مائل للحمرة، وإن سطحه يحتوي على مساحات فسيحة وهي الصحاري ولونها أحمر كلون الصدأ وتغطي طبقة رقيقة من أكسيد الحديد، وينتشر على السطح الكثير من الأحجار والصخور وهناك قنوات طويلة وهي على الأرجح كانت ودياناً مائية يوماً ما في سالف العصور، وسطح الكوكب مليء بالفوهات البركانية العميقة الناتجة عن النيازك.



الشكل (8-8) الوهاد الكبيرة على سطح المريخ ربما كانت أنهاراً

وعلى طول خط الاستواء يمتد الصدع المريخي العظيم وتوجد القلنسويتين القطبيتين لكوكب المريخ وهما منطقتان متجمدتان تتغير مساحتهما خلال دورة الفصول المريخية. وهناك صحاري شاسعة ذوات كثبان تنقلها الرياح المريخية من موقع إلى آخر، وعند خط العرض المتوسط يبدو النجد الهائل المعروف باسم **انتفاخ ثارسيس Tharsis bulge** تعلوه فوهات بركانية يظهر اثنان منها في شكل أدناه، وهناك أخرى تعرف باسم **اولمبس مونس Olympus Mons** يصل ارتفاعها إلى ما يقرب 16 ميلاً. ويعتقد علماء الجيولوجيا أن منطقة ثارسيس تتكون من مادة حارة تدفقت من أعماق باطن الكوكب ودفق بالسطح نحو الأعلى لدى اقترابها منه ثمّ ما لبث أن اندفعت عبر قشرة الكوكب مكونة براكين.



شكل (8-9) يوضح هضبة ثارسيس

وإن أغرب المظاهر الطبيعية التي كشفتها مركبة الفضاء فايكنغ على المريخ هي وجود آثار واضحة للقنوات الضخمة ومجاري الأنهار. ومن هذه المظاهر نستنتج أن المياه السائلة قد تدفقت على سطحه في غابر الدهور رغم عدم وجود المياه السطحية في الوقت الحالي، حيث أن بعض المناطق المنخفضة تشمل على رواسب

متكتلة ومتشققة تبدو كأنها ترسبات تكونت في قاع تجمع مائي هائل وأنه بسبب التبخر اختفيت هذه مياه.

الغلاف الجوي للمريخ

للمريخ غلاف جوي رقيق نسبياً وذلك لجاذبيته القليلة ويبلغ الضغط الجوي على سطحه 0.006 من الضغط الجوي عند سطح البحر على الأرض. وعموماً فإن جو المريخ يتألف من 95% غاز ثاني أوكسيد الكربون، وغاز النتروجين بنسبة 2.7% و غاز الأركون بنسبة 1.6% كما توجد غازات أخرى كالاوكسجين وبخار الماء بنسبة أقل من 1%. وبسبب ميلان محوره على مستوى مداره فإن ظاهرة الفصول الأربعة تحصل على كوكب المريخ لكن بفترات أطول.

أقمار المريخ

للمريخ قمران صغيران هما فوبوس Phobos وديموس Deimos وقد سميا بهذا الاسم نسبة إلى اله الخوف والفزع وقد تم اكتشافهما عام 1877، وكل منهما أصغر كتلة من قمر الأرض كثيراً وشكلهما بيضوى تقريباً. وقطر فوبوس 27 كيلومتر أما قطر ديموس فلا يزيد على خمسة عشر كيلو متر. وديموس هو القمر الخارجي للكوكب ويدور حول المريخ خلال 30 ساعة و 18 دقيقة وفوبوس هو القمر الداخلي ويأخذ في الدوران حول المريخ 7 ساعات و 39 دقيقة وهو يطلع من الشرق ويغيب في الغرب، أمَّا فوبوس فإنه يطلع من الغرب ويغيب في الشرق. ومن خلال المعلومات الواصلة من المركبات الفضائية تبين أن القمرين لهما نفس الشكل وأن فوبوس أكبر من ديموس، وأنهما مظلمين جداً ومقدار انعكاس الضوء حوالي 2% وهذا أقل بكثير من نسبة انعكاس الضوء عن قمرنا على الأرض وهي 7% . و لا يوجد على أي من القمرين نشاط بركاني، وإنهما ربما تكونا في حزام الكويكبات واصطادهما المريخ.

الحياة على سطح المريخ

تدور تساؤلات عدة بين العلماء حول مسألة إن كانت هناك أي نوع من الحياة على سطح المريخ، حيث أن الظواهر الغريبة التي لاحظها الفلكيون على سطح المريخ مثل وجود الكتل الجليدية وانتشار الأخاديد التي تشبه الوديان ومكونات الجو عليه، جعل الناس يظنون أن بالإمكان وجود كائنات ذكية عليه، فأرسلت المركبات العديدة إلى المريخ وتمكنت من الهبوط عليه وقامت بعمل دراسات عديدة على تربته وجوّه وكذلك قامت بعمل تجارب بيولوجية وتم الحصول من هذه التجارب على بعض العمليات الحيوية التي موجودة على الأرض ولكن هذه التجارب لا زالت تحت الدراسة والنتائج غير كافية لاثبات ذلك. إلا أن المرجح عدم وجود حياة متطورة على سطح المريخ وربما تم اكتشاف آثار للحياة تحت السطح مستقبلاً.

دراسة كوكب المريخ

أرسلت المركبات مارس 2، مارس 3، مارس 5، مارس 6، من قبل الاتحاد السوفييتي في السنوات 1971، 1973 وحتى عام 1988 وأرسلت المركبات الفضائية الأمريكية مارينر وفايكنج في الأعوام 1965، 1969، 1971، 1975 وأن أشهر مشروع لاكتشاف سطح المريخ هو مشروع باثنايندر المريخ الذي اعدته وكالة الفضاء الأمريكية NASA فقد تم اطلاق مركبة فضاء متقدمة في ديسمبر 1996 وبعد سبعة أشهر هبطت المركبة على سطح المريخ في تموز 1997. وجميع هذه المركبات تستهدف انجاز دراسات معمقة لهذا الكوكب المثير.



الشكل (10-8) سطح المريخ وترى عليه العربة التي أرسلت مؤخراً لاستكشافه

إن درجة الحرارة على هذا الكوكب منخفضة جداً حيث أنها لا تزيد عند خط استوائه عن درجة تجمد الماء عن الظهيرة، أمَّا في الليل فتنخفض إلى ما دون الصفر المئوي ومعدل الحرارة لا يتعدى (218 كلفن). إن الماء الموجود على سطح المريخ معظمه متجمد وهو محتبس أمَّا تحت السطح أو في القطبين كجليد صلب.

يعتقد أن كوكب المريخ لم يكن جافاً فهناك الكثير من القنوات تشير إلى أن الماء كان يتدفق فيها ولكن انخفاض الضغط الشديد وقلة سرعة الإفلات جعل جزيئات الماء تنفلت من سطحه وتتبخر بسهولة نظراً لانعدام القوى الخارجية عليه وإن هذه القنوات دليل على أن الكوكب في ماضيه كان أعلى حرارة وغلافه الجوي كان أشد كثافة.

المشتري



الشكل (11-8) صورة لكوكب المشتري

المشتري هو أضخم كوكب في المجموعة الشمسية وهو خامس الكواكب بعداً عن الشمس، وهو ثاني كوكب يقع خارج مدار الأرض وقطره يبلغ 11 مرة أكبر من قطر الأرض وكتلته 318 مرة أكبر من كتلة الأرض وكثافته 1.33 غم/سم^3 ، أي أنها أعلى من كثافة الماء قليلاً. تبلغ سرعة الإفلات من سطحه هي 60 كم/ثا و يبعد عن الشمس أكثر من خمس مرات قدر بعد الأرض عنها (5.2 وحدة فلكية) وفترة دورانه حول الشمس حوالي 12 سنة (11.86) سنة. أما دورته حول نفسه فهي بحدود 10 ساعات (بالدقة 9 ساعات و54 دقيقة) ، ويميل محور دورانه حول

نفسه على دائرة استوائه بمقدار 3 درجات و7 دقائق. والمشتري مغطى بحزم كثيفة ملونة، وهو يبدو للمشاهد بالعين المجردة كقرص أصفر لامع يتحرك ببطء في منطقة البروج. وبالإمكان مشاهدته كل ليلة لمدة ستة أشهر تقريباً خلال السنة. وعند مشاهدته من خلال التلسكوب تظهر عليه خطوط مضيئة يندرج لونها من الأصفر الباهت إلى الأحمر القاني أمّا في أقصى شماله وجنوبه فإنه محاط بالأحزمة التي تكون مظلمة بعض الشيء ويندرج لونها من البني إلى الأزرق المعتم.

الغلاف الجوي للمشتري

يتميز كوكب المشتري باحتوائه على سحب مضيئة ملونة، وحزم داكنة موازية لخط استوائه. ويتكون الغلاف الجوي للمشتري من أبخرة كثيفة تكون في الأغلب من الهيدروجين (بنسبة82%) والهيليوم (بنسبة 17%) وغازات أخرى مثل الأمونيا والميثان وبخار الماء بنسبة (1%) إضافة إلى العناصر الصلبة الموجودة في الجو.

في أعماق المشتري يكون الضغط الجوي مرتفع جداً بحيث يعمل على تحول تلك الغازات إلى الحالة السائلة. وهنالك منطقة مميزة في جو المشتري تسمى **البقعة العظمى الحمراء** **The Great Red Spot** وتقع في نصفه الشمالي وهي بيضوية الشكل يبلغ طولها 48 ألف كيلومتر وعرضها 24 ألف كيلومتر ولونها يتأرجح ما بين الوردي والبرتقالي ولا تغير وضعها بل تدور مع الكوكب. ويُعتقد أنها نظام من العواصف الشديدة في جو المشتري.

حلقات المشتري

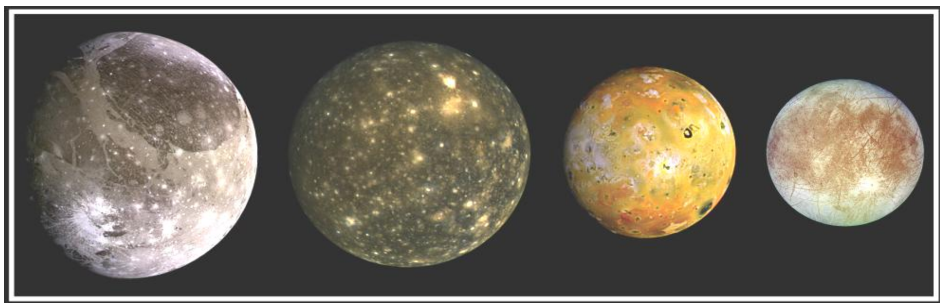
ظن الفلكيون أن كوكب زحل هو الكوكب الوحيد الذي فيه حلقات إلا أنه في عام 1977 تم اكتشاف حلقات حول كوكب اورانوس أيضاً. وفي عام 1979 قامت المركبة الفضائية فويجر بالدوار حول المشتري، وأظهرت الصور المأخوذة من

المركبة أن للمشتري حلقة واحدة ولكنها رقيقة ويعتقد أنها مؤلفة في جسيمات دقيقة من غبار صخري لا يبرح مداره بفعل قوة الجذب الثقالي الهائلة للمشتري وإن هذه الجسيمات صغيرة جداً حيث أن الإشعاع الصادر عن الشمس والاصطدام بالغازات المحتسبة في الحقل المغناطيسي للمشتري تؤثر فيها بقوى احتكاك حيث تجعلها تنحرف إلى داخل الغلاف الجوي للكوكب وتمتزج مع دوامة الغاز وتغيب عن النظر.

أقمار المشتري

للمشتري أقمار كثيرة وكل عام يكتشف الفلكيون أقماراً جديدة، أربعة منها كبيرة يمكن رؤيتها بالتلسكوب العادي وتعرف بأقمار غاليليو حيث تم اكتشافها من قبله عام 1610 ميلادية، وهي (آيو، أوروبا، غانيميد، وكاليستو)، وقطر غانيميد أكبر من قطر عطارد، فهو أكبر قمر في النظام الشمسي. تدور أقمار المشتري ضمن المستوى الاستوائي للكوكب مكونة قرصاً مسطحاً أقرب ما يكون إلى نظام شمسي مصغر، وإن القمر آيو هو القمر الأقرب إلى المشتري من بين أقمار غاليليو لذا فإنه عرضة لقوة جذبه مدية كبيرة تولدها ثقالة المشتري وأن أيو يتعرض إلى قوة جذب ثقالية قوية من أوربا أيضاً، حيث تتسبب هذه القوة في فتل آيو من طرف إلى طرف وكذلك تجبره على تغيير شكل مداره باستمرار.

أمَّا قمر أوروبا يبدو وكأنه بيضة مصدّعة حيث تبدو خطوط طويلة ونحيلة تحزز سطحه والمادة البيضاء هي قشرة من جليد والمادة الحمراء هي ماء غني بالمعادن تسرب إلى السطح في خلال الصدوع وتجمد، ولا توجد فوهات بركانية عليه.



الشكل(12-8) يبين أقمار المشتري الأربعة التي تسمى أقمار غاليليو

أمَّا قمري غانيميد وكاليستو فإنهما يبدوان شبيهين بقمرنا، ولونهما بني رمادي ومغطيان بفوهات بركانية تكونت خلال المراحل المتأخرة في تكونها، وإن سطحها مكونان من جليد، وقد استنتج الفلكيون من الكثافة الوسطية لأقمار غاليليو أن باطنها مكون من مواد صخرية، أمَّا باقي أقمار المشتري فهي أصغر حجماً بكثير من أقمار غاليليو.

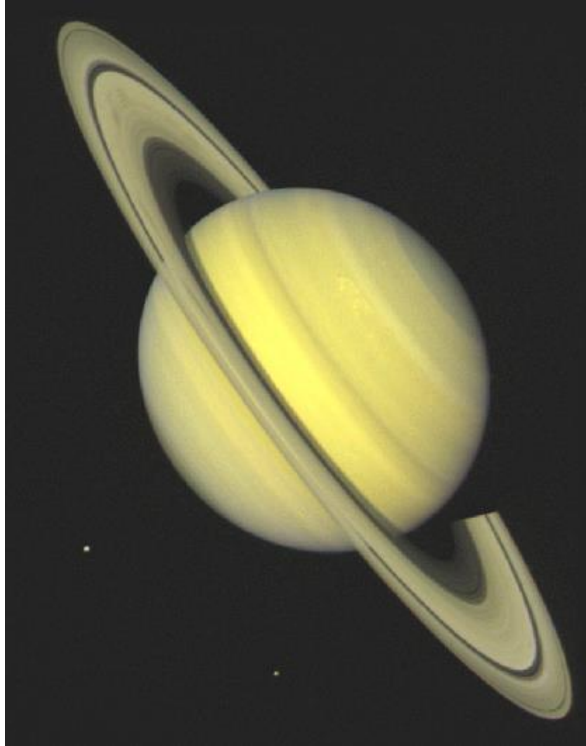
زحل

زحل هو ثاني أكبر كوكب من كواكب المجموعة الشمسية حجماً، وهو أبعد الكواكب التي عرفها الأقدمون. واسم زحل مشتق من الزّحل أي البطء. وهذا الكوكب واضح للعين المجردة، وهو سادس كوكب من حيث البعد عن الشمس ويبعد عنها أكثر من تسع مرات ونصف بعد الأرض عنها، ومرتين قدر بعد المشتري عنها.

يتميز كوكب زحل بجماله إذ يمكن مشاهدته بالمراقب البصرية البسيطة بحلقاته الساطعة التي تحيط به، وهو كوكب غازي حجمه اكبر من حجم الأرض بحوالي 750 مرة (يبلغ قطره 60.268 كيلو متر) ، وكتلته قدر كتلة الأرض 95 مرة (5.68×10^{26} كيلو غرام)، وكثافته 0.7 غم/سم^3، أي أنه أقل كثافة من الماء. أما سرعة الافلات من على سطحه فتبلغ 36 كم/ثا.

حركته

يتحرك كوكب زحل في فلك أهليجي حول الشمس يميل على الدائرة الكسوفية بزاوية مقدارها 2درجة و29 دقيقة، ويتم مداره حول الشمس في ما يقرب من ثلاثين سنة (29 سنة و 166 يوماً). إن حركته المحورية شبيهة بكوكب المشتري لأنّه ليس جسماً صلباً، لذلك تكون سرعته عند خط استوائه اكبر من سرعته عند قطبيه وتبلغ مدة دورانه حول نفسه 10 ساعات و 39 دقيقة أي أن يومه أطول من يوم المشتري. يميل محور دورانه حول نفسه على مستوى مداره حول الشمس بزاوية مقدارها 26 درجة و45 دقيقة.



الشكل(13-8) الكوكب زحل

غلافه الجوي وسطحه

يتكون الغلاف الجوي لزحل بالدرجة الأولى من غاز الهيدروجين والمركبات الغنية بالهيدروجين كما هو الحل في كوكب المشتري حيث أن هذان الكوكبان العملاقان يتشابهان في التركيب، ويتميزان بغلاف جوي ثقيل ونطاقات من الغيوم.

يطلق زحل طاقة اكبر مما يكسبه من الشمس وهذا يعني أن هناك حرارة تبعث من داخله، ويعتقد الفيزيائيون الفلكيون أن حرارة زحل ناتجة عن انكماشه المستمر البطيء.

إن الغلاف الجوي لزحل بارد جداً بحيث يكفي لتجميد غاز الأمونيا وتحويله إلى جسيمات سحابية تغطي الطبقات الأعمق من غلافه الجوي. ولأن كوكب زحل بعيد عن الشمس لذا تكون درجة حرارة سطحه منخفضة وتقدر بحوالي 170 درجة مئوية تحت الصفر، لذا يحتفظ زحل بغازي الهيدروجين والهليوم منذ لحظة تكونه.

حلقاته

لكوكب زحل أربع حلقات تحيط به دون أن تلامسته، وكان أول من شاهد حلقاته هو غاليليو وقد بانت تلك الحلقات مثل (قبضتين) على طرفي الكوكب، فلم يستطع غاليليو تمييزها بوضوح. ولكن في عام 1659 لاحظ العالم الهولندي هايجنز أن الحلقات منفصلة ومحيطة به. وتقع هذه الحلقات بموازاة الدائرة الاستوائية للكوكب والتي تميل بزاوية قدرها 26.5 درجة على الدائرة الكسوفية.

إن حلقات زحل رقيقة جداً وعريضة، ويمكن رؤية حلقات داخلية باهتة أكثر اقتراباً من زحل، وحلقات خارجية باهتة مبتعدة عن الكوكب ويفصل بين الحلقتين حاجز في الفراغ المظلم يسمى **فراغ كاسيني** وفي عام 1838 رصد العالم الفلكي يوهان جال حلقة ثالثة في الفراغ الكائن بين الحلقتين وإن لهذه الحلقات مركز واحد هو الكوكب نفسه. وإن هذه الحلقات بعضها لامع وبعضها معتم وأشدها لمعاناً في الوسط.

يعتقد العلماء أن حلقات زحل هي عبارة عن بلايين الأقمار الجليدية الرقيقة تدور في فلكه أو ربما تكون مواد لقمر لم يتكون بعد أو بقايا أحد الأقمار المنفجرة وهي في طور التكوين.

أقمار زحل

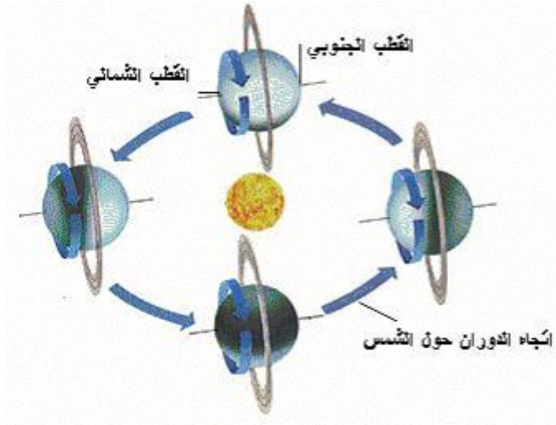
لزحل ثمانية عشر قمراً بعضها محدب مستطيل ويبلغ طوله ضعف عرضه. وهذه الأقمار معروفة منذ زمن طويل أكبرها، وأسطعها القمر تيتان Titan حيث أن حجمه يضاهي حجم كوكب عطارد وكتلته تعادل حوالي ضعف كتلة قمرنا (1.83 من كتلة قمرنا) ويدور حول زحل في مدة 16 يوم، وأهم مميزاته أنه يحتوي على غلاف جوي معظمه من غاز الميثان. وتجرى وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) متابعة ودراسة مستمرة على هذا القمر في محاولة لفهم تكوينه وبالتالي التوصل لفهم كيفية تكوين الأقمار الأخرى.

أورانوس

هو الكوكب السابع من حيث البعد عن الشمس ولا يرى بالعين المجردة إلاّ بصعوبة إذا عُرف مكانه، فهو ثالث كوكب عملاق بعد المشتري وزحل في المنظومة الشمسية، إذ يبلغ قطره 4 مرات قدر قطر الأرض. تم اكتشافه عام 1781 على يد العالم الفلكي وليم هرشل وكان لاكتشافه أثر كبير على علم الفلك، وذلك لأن تقدير وجوده جاء بناءً على حسابات نظرية صرف مما عزز الثقة بالميكانيك السماوي. تبلغ كتلته أكثر من 14 ضعفاً من كتلة الأرض حوالي (8.66×10^{25} كغم) وكثافته قريبة من كثافة الماء، يبعد عن الشمس حوالي 20 مرة قدر بعد الأرض عنها. تبلغ سرعة الافلات على سطحه 21كم/ثا.

حركته

يدور كوكب اورانوس حول الشمس في مدار اهليجي يميل على الدائرة الكسوفية بزاوية صغيرة جداً قدرها 46 دقيقة قوسية تقريباً. ويتم مداره في 84 سنة و 4 أيام. يتميز كوكب اورانوس عن الكواكب الأخرى بأن محور دورانه يقع تقريباً في مستوى فلكه، أي أن خط استوائه يتعامد تقريباً على مستوى فلكه، أنظر الشكل (4-23). ولهذا يقع ضوء الشمس أحياناً بصورة عمودية على أحد قطبيه. تبلغ مدة دورانه حول نفسه حوالي16 ساعة.



الشكل (8-14) دوران اورانوس حول نفسه وحول الشمس

غلافه الجوي ودرجة الحرارة السطحية

إن الغلاف الجوي لكوكب اورانوس يتكون معظمه من الهيدروجين والهليوم اضافة إلى قليل من غاز الأمونيا والميثان، إن درجة حرارة هذا الكوكب منخفضة إذ تبلغ 200 درجة مئوية تحت الصفر لذا تبقى الأمونيا في حالة تجمد. يتميز هذا الكوكب بلونه الأزرق المخضر، والذي سببه أشعة الشمس التي تتخلل إلى أعماق الغلاف الجوي لهذا الكوكب وهناك ضوء أحمر يظهر أيضاً، ولكن الأزرق والأخضر هو المنعكس إلى الفضاء، وهذا اللون ناتج عن وجود غاز الميثان في الغلاف الجوي للكوكب.

أقمار اورانوس

لكوكب اورانوس خمسة عشر قمراً تدور في أفلاك حول الكوكب من الشرق إلى الغرب وتقع في المستوى الأستوائي للكوكب ،أشهر أقماره المعروفة حتى الآن خمسة هي: أُبرون وتيتانيا، وهما أكبر أقماره وأرييل وأمبريل، وأصغر الخمسة هو القمر ميراندا الذي يمتاز بالتضاريس التي تظهر على سطحه. أمّا الأقمار الأخرى فهي صغيرة تم اكتشافها مؤخراً من قبل سفينة فايكنج الفضائية.

نبتون

هذا هو الكوكب الثامن من كواكب المنظومة الشمسية، وهو لا يرى بالعين المجردة لأن ضوئه ضعيف، فهو بعيد جداً ولم تكن تتوفر معلومات عن هذا الكوكب حتى سنة 1989 حيث قامت مركبة فويجير (2) بالحصول على بعض المعلومات عنه. وكان كوكب نبتون قد اكتشف عام 1864 من قبل الفلكي الألماني يوهان جال. حيث لاحظ هذا أن كوكب اورانوس غير منتظم في حركته وأنه ينحرف انحرافاً غريباً في مداره ويتحرك بشكل أسرع من اللازم فأستنتج أن هناك كوكب آخر قريباً منه وأن جاذبيته تؤثر عليه وقام برصد ذلك الكوكب المجهول وتمكن من تحديد مكانه واكتشافه.

إن كوكب نبتون بعيد عن الشمس إذ يبلغ يبعد عنها 30 مرة قدر بعد الأرض عنها. ويدور حولها في مدة مقدارها(165 سنة) في مدار شبه دائري يميل على مستوى البروج بأقل من درجتين. تبلغ كتلتة نبتون حوالي17 مرة قدر كتلة الأرض ويبلغ قطره 3.8 مرة قدر قطر الأرض وكثافته (1.6 غم/سم^3). وتبلغ فترة دورانه حول نفسه 18 ساعة وتبلغ سرعة الافلات عن سطحه 24 كم/ثا.



الشكل (15-8) صورة حديثة لكوكب نبتون

غلافه الجوي ودرجة حرارة سطحه

إن الغلاف الجوي لكوكب نبتون شبيه بالغلاف الجوي للكواكب الثلاثة المشتري وزحل واورانوس حيث أن له جواً كثيفاً يبلغ سمكه (3240 كم) يتكون من الهيدروجين والهليوم ونسبة قليلة من الميثان والأمونيا المتجمد، وإن هذا الكوكب بعيد عن الشمس كثيراً لذا تبلغ درجة حرارة سطحه حوالي 220م تحت الصفر مما جعل كل الغازات الموجودة على هذا الكوكب في حالة انجماد دائم.

أقماره

كشفت المركبة الفضائية فويجر 2 عام 1989 أن لكوكب نبتون ثمانية أقمار بعد أن كان الناس يعرفون أن له قمرين فقط هما:

تريتون (Triton): وهو أكبر من قمرنا بكثير إذ يقرب حجمه من حجم كوكب المريخ وله غلاف جوي سميك من غاز الميثان. ويدور حول نبتون في مدة 6 أيام. ودورانه معاكس لدوار بقية الأقمار ويميل بحوالي 20 درجة عن الدائرة الاستوائية

لنبتون مما جعل الفلكيين يعتقدون بأنه كان واحداً من الكويكبات الكبيرة أسره نبتون حينما صارا قريبين من بعضهما.

نيريد (Nereid) وهو أصغر حجماً من ترايتون كثيراً، ويدور حول نبتون في مدة سنة أرضية. ويلاحظ أن فلك نيريد ليس دائرياً بل بيضوي الشكل لذلك فهو تارة يقترب من الكوكب ومرة أخرى يبتعد. كما لوحظ أن أتجاه دوران هذين القمرين متعاكس. أما بقية الأقمار فهي صغيرة.

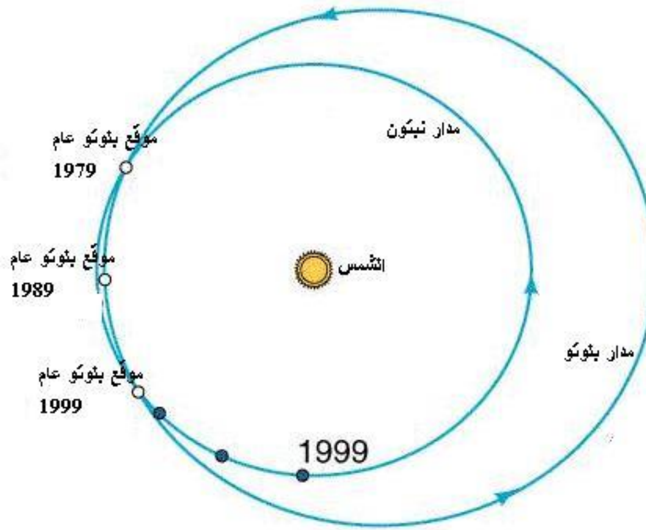
بلوتو

كان كوكب بلوتو يعتبر الكوكب التاسع والأخير من كواكب المنظومة الشمسية لكن الاتحاد الفلكي العالمي أخرجه من قائمة الكواكب وجعله في قائمة الكويكبات إذ أنه أصغر من قمر الأرض ، وهو ذو مدار شاذ يتداخل مع مدار نبتون. وقد اكتشف هذا الجرم عام 1930 بعد بحث استمر عشرين عاماً. أن المعلومات عن كتلة الكوكب وكثافته لا زالت غير دقيقة وذلك لصغر حجم هذا الكوكب وبعده الشاسع عن الأرض حيث أن قطره يتراوح بين (2000 كم إلى 3000 كم) أمّا كتلته فهي حوالي 0.002 من كتلة الأرض أي أنها أقل من كتلة قمرنا وكثافته تتراوح ما بين 0.8 غم/سم^3 وهي أصغر كثافة لكوكب في المنظومة الشمسية. متوسط بعده عن الشمس حوالي 49 مرة قدر بعد الأرض عنها.

حركته

يتحرك بلوتو ضمن فلك ذي تمايز مركزي عالٍ جداً فهو يبتعد عن الشمس بمقدار 7.38×10^9 كيلومتر عندما يكون في الأوج و 4.4×10^9 كيلومتر عندما يكون في الحضيض. وإنه عندما يكون في الحضيض يتوغل في فلك نبتون فيصبح أقرب إلى الشمس من نبتون. وتبين الصورة هذه الحالة كما حصلت في السنوات الأخيرة.

ويُتم الكوكب دورته حول الشمس بمدة 247.4 سنة. إن لهذا الكوكب حركة محورية سريعة جداً حيث يدور حول نفسه ليكمل دورة واحدة كل 6 ساعة، و 24 دقيقة ويعتقد العلماء أن هذا الكوكب ربما كان قمراً من أقمار نبتون. ولربما حصلت عودته إلى نبتون يوماً عندما يقترب منه فيأسره ثانيةً. ويعتقد الفلكيون أن هناك كوكب آخر وراء بلوتو على بعد 100 وحدة فلكية يطلق عليه اسم (X- planet) ، والسبب في هذا الاعتقاد أن كتلة الكوكب بلوتو لم تحل جميع الاشكالات التي تسبب الاضطراب لمسار نبتون وهذا يدل على وجود كوكب آخر يؤثر عليه.



الشكل (16-8) تداخل مداربلوتو مع مدارنبتون

غلافه الجوي ودرجة حرارته السطحية

إن كوكب بلوتو بارد جداً نظر لبعده عن الشمس حيث تتراوح درجة الحرارة السطحية 230 درجة مئوية تحت الصفر، وإن انخفاض درجة الحرارة جعل جميع الغازات الموجودة في حالة انجماد. إن الكوكب مغطى بطبقة كثيفة في غاز الميثان والأمونيا والجليد.

أقماره

ليس لبلوتو سوى قمر واحد هو كارون Charon ، ويبلغ قطره حوالي 1200كم ويعتبر هذا التابع عملاقاً بالنسبة لكوكبه . يدور كارون حول مركز الثقل المشترك مع بلوتو بسرعة عالية جداً لاقترابه الشديد من الكوكب ويتم دورته في6.39 يوماً وهي نفس الفترة التي يحتاجها بلوتو ليكمل دورة كاملة حول نفسه. ولهذا السبب يبقى هذا القمر ثابتاً في سماء بلوتو فلا يغيب ويرى من جهة واحدة من الكوكب ولا يرى من الجهة الأخرى.

أسئلة الفصل الثامن

1. صف الحركة العامة لعطارد والزهرة على مدار السنة كما تراها من الأرض.
2. هل يمكن لكوكب عطارد أن يوجد عند خط الزوال؟
3. ما هو الاقتران الداخلي وما الاقتران الخارجي؟
4. لماذا تحتفظ الشمس بغلاف جوي رغم حرارتها العالية؟
5. مم تتألف الشمس؟ وكيف عرفنا ذلك؟
6. لماذا لا تنهار الشمس الآن ومتى يمكن أن يحصل ذلك؟
7. لماذا يتحتم إن يكون باطن الشمس حاراً جداً؟
8. ما هي كرة الضوء، والكرة اللونية، والإكليل الشمسي؟
9. ما المقصود بالنشاط الشمسي أو الفاعلية الشمسية؟
10. لماذا تبدو البقع الشمسية عاتمة؟

11. ما هو الدور الذي تؤديه الفعالية المغنطيسية في النشاط الشمسي؟
12. ما هي الدورة الشمسية؟
13. ما هي الفترة بين العدد الأقصى للبقع الشمسية؟ وبماذا تختلف عن فترة الدورة الشمسية الكاملة؟
14. لماذا لا يصح أن يكون مصدر طاقة الشمس عملية كيميائية كاحتراق الهيدروجين والأكسجين لتكوين الماء؟
15. ما هو مصير الشمس بحسب النظريات المعاصرة؟
16. لماذا تظهر فوهات كثيرة على سطح القمر ولا تظهر أمثالها على سطح الأرض؟
17. لماذا يعتقد الفلكيون أن القمر كان جزءاً من الأرض؟
18. هل لعطارد غلاف جوي؟ ولماذا؟
19. بم يشبه سطح عطارد؟ ولماذا هو كذلك؟
20. ما هو الشذوذ في دوران الزهرة حول الشمس؟
21. هل يمكننا رؤية سطح الزهرة؟ ولماذا؟
22. ما هو الغاز الغالب في الغلاف الجوي للزهرة؟ وكيف عرفه الفلكيون؟
23. ما سبب شدة حرارة الزهرة؟
24. صف بعض مظاهر سطح المريخ
25. بم يشبه الغلاف الجوي لكوكب المريخ؟
26. مم تتألف القلانس القطبية المريخية؟

27. ما الدليل على أن المريخ احتوى في زمنٍ ما ماءً كان يجري على سطحه؟

28. ما هي المواد الغازية الأساسية التي يتكون منها كوكبا المشتري وزحل؟

29. ما سبب ضخامة الكواكب الخارجية؟

30. ماذا يشبه كوكب المشتري؟

31. ما هي البقعة الحمراء العظمى؟

32. هل للمشتري وزحل سطوح صلبة؟

33. ما نوع الحركة والفعالية الجوية التي تلاحظ في المشتري؟

34. كيف يعرف علماء الفلك محتوى الكواكب الخارجية؟

35. مم تتكون حلقات زحل؟ وكيف يعرف علماء الفلك ذلك؟

36. ما سبب زرقة أورانوس ونبتون؟

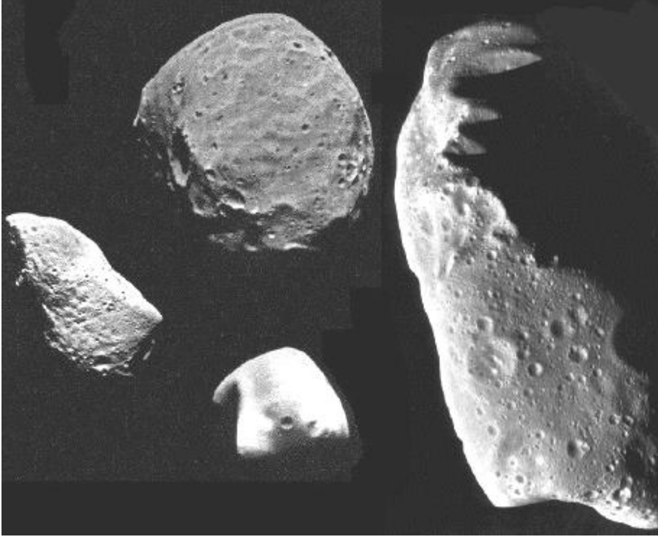
37. ما هي الظاهرة غير الاعتيادية الخاصة بمحور دوران أورانوس؟. ما الذي يفسر هذه الخصوصية؟

38. ما لغرابة في دوران بلوتو وقمره كارون؟

الفصل التاسع

أجرام أخرى

الكويكبات



الشكل (9-1) الكويكبات

لاحظ الفلكيون أن الكواكب بين المشتري والمريخ تختفي تماماً فرغم أن قانون تيتوس .بود يقرر وجود كوكب على مسافة 2.8 وحدة فلكية عن الشمس إلا أن الفلكيين لم يجدوا أي كوكب هنا. لكنهم اكتشفوا مجموعة هائلة من الكويكبات سابحة في الفضاء في مدارات اهليجية حول الشمس، وقد تمكن الفلكيون من دراسة حركة وتركيب هذه الكويكبات الصغيرة الحجم بقياسهم سطوعها الضوئي في نطاق الأشعة تحت الحمراء، وقياس اقطارها الزاوية لتحديد حجومها، كما واستخدموا التحليل الطيفي للأشعة المنعكسة عن سطوحها حيث تعطي معلومات عن تركيبها الكيميائي، كذلك فإن الفلكيين قد تمكنوا من معرفة الكثير عن تركيب الكويكبات من خلال التحليل المباشر للنيازك Meteorites . تبلغ كتلة الكويكبات مجتمعة حوالي 0.04% من كتلة الأرض ويقدر الفلكيون عددها بحوالي 30 ألف كويكباً، أكبرها هو سيرس Ceres.

مدارات الكويكبات

تدور جميع الكويكبات حول الشمس في مدارات اهليجية باتجاه معاكس لدوران عقرب الساعة ولبعضها مدارات مفلطحة تفلطحاً كبيراً حيث تبلغ استطالة المدار (اللامركزية) ما بين 0.1 و 0.3، مثال ذلك مدار الكويكب إيكاروس الذي يقترب حضيضه من الشمس أكثر من اقتراب كوكب عطارد منها. وتتوزع على غير انتظام في المنطقة الواقعة ما بين 2.2 إلى 3.3 وحدة فلكية عن الشمس. ويتفاوت ميل مستوى مداراتها على الدائرة الكسوفية ما بين صفر إلى 20 درجة. ونظراً لتباعدها عن بعضها البعض حالياً فإن فرصة تصادمها أصبحت قليلة جداًُ. وربما حصل أن مرت بعض الكويكبات بقرب أحد الكواكب فصادها. وبهذا الصدد يعتقد الفلكيون أن قمري المريخ فوبوس وديموس هما كويكبين أسرها الكوكب قديماً. ويؤكد ذلك أن شكلهما غير منتظم وحجمهما صغير. ونظراً لأن أشكال الكويكبات غير منتظمة عادة فإنها تغير سطوعها بسبب دورانها حول نفسها.



الشكل (2-9) حزام الكويكبات

كويكبات ثنائية

كثيراً ما تساءل الفلكيون عن احتمالية وجود ثنائي يتألف من كويكبين يور أحدهما حول الآخر وفي عام 1989 اكتشف بالصدفة غير المقصودة مرصد أريسبو الراديوي ثنائياً كويكبياً هما عبارة عن صخرتين بعد كل منهما حوالي 15 كيلومتر، تدوران حول بعضهما في دور مقداره 4 ساعات، وهذا الثنائي الكويكبي إسمه تاوتاتس Toutatis.

التركيب الكيميائي للكويكبات

دلت الدراسات الطيفية والكيميائية على أن حوالي 75% من الكويكبات تحتوي على مواد كربونية عضوية معقدة التركيب. وأن حوالي 5% منها تتألف من الحديد والنيكل والباقي من الكويكبات يتألف من السيليكات.

أصل الكويكبات

يعتقد البعض أن الكويكبات نشأت عن انفجار كوكب كان يقع بين المريخ والمشتري. لكن الدراسات التي أجريت على الظروف الممكنة لمثل هذا الانفجار وحساب كتلة الكويكبات أدت إلى استبعاد هذا الرأي. وذلك لأن كتلة الكوكبات مجتمعة لا تزيد على ثمانية أجزاء من عشرة آلاف جزء من كتلة الأرض.

والرأي السائد حالياً يقرر أن الكويكبات كتل متناثرة موجودة أصلاً منذ نشأة النظام الشمسي، وقد مرت عليها فترة جعلتها تتصادم مع بعضها البعض بسبب جذب كوكب المشتري لها مما جعلها تتناثر وقد سقط قسم كبير منها على الكواكب المجاورة بشكل نيازك وكان للأرض في سالف الأزمان حصة من ذلك.

المذنبات

وهي أجرام سماوية لامعة ذات ذيل طويل يمتد لمسافة كبيرة، وقد ظن ارسطو أنها تنشأ بسبب الظواهر الجوية، وكان ظهور المذنبات قديماً يثير الرعب في قلوب الناس ويعتبرونها نذيراً بالحرب والدمار. وينفي العلم مثل هذه التشاؤم وقد أثبت تايكو براهي عام 1577م أن المذنبات هي أجرام سماوية تدور حول الشمس في مدارات مفلطحة ذات تمايز مركزي كبير، وتميل مستويات مداراتها على الدائرة الكسوفية بزوايا مختلفة اختلافاً كبيراً. تكون كتلة المذنبات صغيرة عادة إذ لا تكاد تبلغ بحدود جزء من 100 مليون جزء من كتلة القمر.

قام أدموند هالي بمراجعة سجلات ظهور المذنبات فوجد أن خصائص المذنبات التي ظهرت في السنوات 1530 و 1607 و 1682 متشابهة تماماً. لذلك اقترح أنه نفس المذنب وأن له زمن دوري قدره 76 سنة تقريباً. ومن خلال قانون كبلر الثالث يمكن أن نتبين أن المحور الكبير لمداره يبلغ 18 وحدة فلكية تقريباً.



الشكل (3-9) الخوف من المذنبات

لذلك توقع أدموند هالي أن يظهر المذنب عام 1758 ميلادية وفعلاً ظهر المذنب قريباً من ذلك الوقت (في الحقيقة عام 1759م) ولكن هالي كان قد مات (توفي عام 1742)، وتكريماً لهذا الفلكي سمي المذنب باسمه **مذنب هالي Haley's Comet** والمعروف أن آخر مرة رأينا فيها هذا المذنب كانت في نيسان عام 1986م وقد تمكن عدد كبير من الناس من مشاهدته.

تركيب المذنبات

عندما يكون المذنب بعيداً عن الأرض في الفضاء فإنه لا يُرى لكن حين يقترب منها فإنه يُرى بوضوح لذلك تمكن الفلكيون من دراسة المذنبات عند اقترابها من الشمس وتبين لهم أنها تتألف من ثلاثة أقسام هي:

1. **النواة: Nucleus**

وتمثل الجزء الصلب من المذنب وتتألف من جزيئات متجمدة من الماء وثاني أوكسيد الكربون والنشادر والميثان ويبلغ قطرها بضعة كيلو مترات وربما احتوت على مواد نيزكية معدنية.



الشكل (4-9) أجزاء المذنب

2.الشوشة (الرأس): Coma

وتتكون عادة عندما يقترب المذنب من مدار المريخ وتتألف من غيمة كروية الشكل من غازات متألقة نتيجة تبخر الغازات المتجمدة في النواة بفعل أشعة الشمس ويبلغ قطر الشوشة هذه حوالي 100000 كيلو متر وتشير الدراسات الطيفية إلى احتواءها على جزيئات بسيطة مثل الماء وعلى جزيئات معقدة مثل الأمونيا

3- الذيل: Tail

ويتكون عندما يقترب المذنب كثيراً من الشمس حيث يتبخر جزء كبير من طبقاته الخارجية بفعل الاشعاعات والرياح الشمسية الساخنة حيث تندفع أجزاء منه بعيداً عن النواة مكونة ذيلاً متوهجاً يتجه عكس اتجاه الشمس ويمتد الذيل بفعل ضغط الرياح الشمسية وضغط الضوء ملايين الكيلومترات في الفضاء. وعادةً يكون للمذنب ذيلين: الأول **الذيل الأيوني** ولونه يميل إلى الزرقة ينتج بسبب تصادم الرياح الشمسية مع الذرات والجزيئات في الشوشة إذ تنفصل عنها الكتروناتها وتصبح الذرات موجبة الشحنة مثارة في مستويات عالية فتتأثر بالمجال المغناطيسي للشمس، وعندما تعود للإتحاد مع الكتروناتها ينبعث منها الضوء الأزرق. ويتألف الذيل الأيوني عادة من غاز أول أوكسيد الكاربون وثاني أوكسيد الكاربون والنتروجين الجزيئي. ويتخلل الذيل مجال مغناطيسي يؤثر في اتجاه الأيونات وبالتالي يحدد اتجاه الذيل.

وهناك ذيل ثاني ويدعى **الذيل الغباري** ولونه مائل إلى الصفرة، ويتألف من جسيمات غبارية من مادة السيليكات عادة، حيث تصدم الفوتونات الضوئية مع الغبار في الشوشة وتدفعه بقوة خلف المذنب وأثناء حركة المذنب في مداره حول الشمس تتطاير منه كميات كبيرة من الأتربة والغبار مؤلفة جداول أو أنشوطة واسعة وأثناء دوران الأرض حول الشمس تمر من خلال هذه الجداول مرة واحدة في

السنة على الأقل فتقع دقائق الغبار على الأرض محترقة في الغلاف الجوي مؤلفة بذلك شلالاً من الأنوار الشهبية وتسمى هذه الظاهرة **الزخات الشهبية**، **Meteor Showers**، وتنسب هذه الزخات إلى الأبراج التي تظهر وكأنها قادمة منها...فيقال زخة **شهب الأسديات** **Leonids** التي تبدو قادمة من برج الأسد وزخة **شهب البرشاويات** نسبة إلى كوكبه برشاوس.



الشكل (5-9) المذنب هيل-بوب ويرى بوضوح ذيليه

مدارات المذنبات

للمذنبات مدارات ذات استطالة كبيرة جداً، لذلك فإن مدة دورانها حول الشمس كبيرة عادةً. فبعضها يظهر في السماء خلال عشرات السنين كمذنب هالي وبعضها يدور في آلاف السنين كمذنب هيل-بوب. وهنالك نوع آخر من المذنبات وهي الزائرة تأتي مرة واحدة لتدور حول الشمس وتعود أدراجها إلى عمق الفضاء الكوني فلا ترجع إلى النظام الشمسي مرة ثانية. وتكون مدارات المذنبات على نوعين: الأولى **مفتوحة**: وهي التي تزور الشمس مرة واحدة لا تعود بعدها أبداً. والثانية **مغلقة**: وهذه هي التي تكرر زياراتها على فترات دورية شبه منتظمة. وتكون المذنبات الدورية

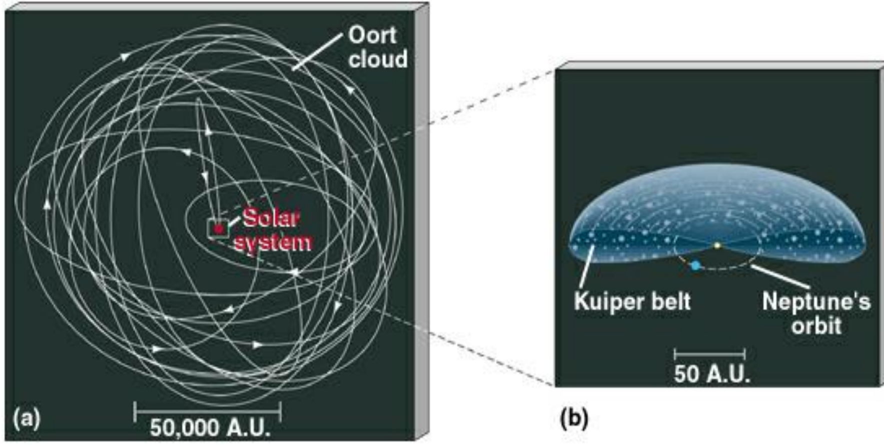
على نوعين: **قصيرة الدور** مثل مذنب هالي الذي يبلغ دوره بحدود 76 سنة. و **طويلة الدور** حيث يبلغ دورها آلاف وعشرات الآف السنين مثل مذنب هيل-بوب الذي ظهر في السماء عام 1996.

مصدر المذنبات

يعتقد الفلكيون أن مصدر المذنبات قصيرة الدور هو **حزام كيوبر** الذي يقع على بعد 100 وحدة فلكية عن الشمس. حيث يحتوي هذا الحزام على مئات ملايين الكِسف الصغيرة ومن هذه الكسف المذنبات نفسها. ولكن ما هو مصدر المذنبات الطويلة الدور؟

من خلال مراقبة المذنبات التي تُظهر حسابات مدااتها أنها طويلة الدور يتبين أن معدل نصف قطر المحور الأعظم لمداراتها الإهليجية المفلطحة تفلطحاً كبيراً هو بحدود 50000 وحدة فلكية. ويعني هذا بحسب قانون كبلر الثالث أن معدل دورها هو بحدود 10 ملايين سنة. ونظراً لأن المذنبات تقضي معظم وقتها في حضيضها الذي يبعد بحدود 100000 وحدة فلكية عن الشمس حيث تكون سرعاتها هناك بطيئة جداً فلا تكاد تقطع في اليوم الواحد بضعة ألف كيلومتر، فإن تجمعاً كبيراً للمذنبات يُفترض ووده على هذا البعد حيث تتألف هنالك سحابة سميت سحابة أوورت نسبة إلى جان أوورت الذي إقترح وجودها عام 1950. لكن يبقى السؤال قائماً وهو من أين أتت هذه السحابة وكيف تكونت؟؟.

هنالك عدة إجابات مقترحة لهذا السؤال بعضها يقرر أن سحابة أووت ولدت أصلاً على حافة النظام الشمسي على بعد 100 وحدة فلكية لكنها ما برحت تتباعد لأسباب جذبية تتعلق بالدور الجذبي لكوكب المشتري وبقية الكواكب العملاقة التي قامت بدور الطرد الجاذبي للمذنبات بعيداً عن النظام الشمسي. ولكن هنالك أيضاً آراء أخرى عديدة ولم تزل الدراسات بهذا الصدد بحاجة إلى كثير من الأرصاد والحقائق الفلكية لكي يتم فهم أصل ومصدر المذنبات.



الشكل (6-9) سحابة أووت وحزام كيوبر

مصائر المذنبات

ينفث المذنب إلى الفضاء الخارجي حوالي 100 مليون طن من الغازات والأتربة كلما دار دورة جديدة حول الشمس، وهذه الكمية تؤلف جزءاً من ألف جزء من كتلة المذنب. كما يحصل أحياناً أن تتفتت نواة المذنب إلى أجزاء عدة بسبب التأثيرات المدّية للشمس أو الكواكب السيارة الكبيرة كما حصل لمذنب ويست عام 1976 حيث تفتت نواته إلى أكثر من 4 أجزاء عند مروه قريباً من الشمس. وما حصل كذلك لمذنب شوماخر .ليفي عام 1996 قبيل ارتطامه بكوكب المشتري. لذلك فإن عمر المذنبات يكون قصير نسبياً. وعموماً يمكن القول أن هنالك ثلاث مصائر للمذنبات وهي:

1. التبدد والتفتت إلى أجزاء صغيرة.
2. الاصطدام مع الشمس أو الكواكب . وهذا ما حصل لمذنب شوماخر– ليفي الذي اصطدم مع كوكب المشتري عام 1996، بعد أن تفتت إلى 9 قطع.
3. الانفلات من المنظومة الشمسية والهرب إلى الفضاء الخارجي.

الشهب والنيازك

الشهب Meteors هي ومضات ضوئية تظهر فجأة في السماء نتيجة لمرور كِسف Meteoroids صلبة خلال الغلاف الجوي للأرض فترتفع درجة حرارتها نتيجة احتكاكها بالغلاف الجوي فيتبخر معظمها وقد يبقى منها شيء يسقط على الأرض وعندئذ يسمى هذا الجزء الباقي نيزكاً. وتترك النيازك عند سقوطها على الأرض حفراُ تتفاوت في اتساعها بحسب كتلة النيزك الساقط.



الشكل (9-7) حفرة نيزكية قطرها 1 كيلومتر

يتفاوت حجم وكتلة الكسف الموجودة في الفضاء تفاوتاً كبيراً وتختلف مصادرها أيضاً. فمنها ما هو حبات رمل ومنها ما هو حصوات وأحجار صغيرة وهذه تكون عادة من مخلفات المذنبات تتركها على خط مسارها عند مرورها قريباً من مدار الأرض. فإذا مرت الأرض بشيء منها ظهرت في السماء شهب كثيرة. ويحصل ذلك في بعض أيام السنة فتظهر زخات من الشهب كأنها صادرة من موقع أو برج معين في السماء، وقد ذكرنا ذلك آنفاً عند الحديث عن المذنبات.

أما النيازك فإنها على الأرجح بقايا كِسف أكبر حجماً نتجت عن تصادم كواكب أو كويكبات مع بعضها البعض. وهنالك ثلاثة أنواع من النيازك:

1. النيازك الحديدية : وتتألف من 90% من الحديد و9% من النيكل وآثار لعناصر أخرى. ويمكن تشخيصها بسهولة من خلال كثافتها العالية ومنظرها المعدني.

2. **النيازك الصخرية:** وهي قليلة الكثافة عادة. تتألف في معظمها من السليكات وتحتوي على نسبة 2% من الكربون.

3. **النيازك الصخرية الحديدية:** وتتألف من خليط من الحبيبات السليكاتية والحديد.





الشكل () نوعان من النيازك، إلى اليمين حديدي والى اليسار صخري كاربوني

حاشية (9-1)   نموذج مصغر للمنظومة الشمسية

لكي نتصور الأبعاد والأحجام في النظام الشمسي يمكننا بناء نموذج مصغر قابل للتصور. فلو مثلنا الأرض بكرة قطرها 1سنتيمتر أي بحجم حبة الحمص، فإن الشمس ستكون عبارة عن كرة قطرها 116 سنتيمتر. وستجلس الأرض (حبة الحمص) على بعد 125 متراً عن الشمس وعل بعد قدم واحد من حبة الحمص سيبدو القمر بحجم حبة العدس . أبعد كوكب في المنظومة الشمسية فسيكون على بعد 5 كيلومتر عن الشمس. مما يعني أننا نستطيع تمثيل المنظومة الشمسية وفق هذا المقياس كقرص قطره 10 كيلومترات في وسطه كرة الشمس بقطر 1 متر تقريباً، ويقع أقرب كوكب اليها وهو عطارد على بعد 50 متر ثم كوكب الزهرة على بعد 87 متراً. أما كوكب المريخ فسيكون على بعد مائتي متر عن الشمس. وسيكون هنلك حزام من الهباءات الصغيرة يتوزع في المنطقة التي تبعد مابين 300-400 متر عن الشمس، وهي مجموعة الكويكبات. أما كوكب المشتري فإنه سيكون على بعد 650 متراً ثم زحل على بعد يقرب من 1200 متر، فكوكب اورانوس على بعد 2400 متر وكوكب نبتون على بعد أربعة كيلومترات إلا ربعاً. وأخيراً كوكب بلوتو الصغير سيبدو كحبة السمسم على بعد 5 كيلومرات عن الشمس. هكذا ستبدو المنظومة الشمسية مليئة بالفراغ!

تكوين النظام الشمسي

كما أسلفنا فإن المنظومة الشمسية تتألف من الشمس والكواكب التسعة التي تدور حولها والأقمار التابعة لتلك الكواكب. كما تضم المنظومة الشمسية مجموعة الكويكبات التي بين المريخ والمشتري و كثير من المذنبات الدورية كمذنب هالي والزائرة التي تظهر فجأة. وهنالك عدد من الملاحظات الأساسية التي يمكن تأشيرها بشأن الصفات التكوينية والحركية لمكونات المنظومة الشمسية واهم هذه الملاحظات ما يلي:

إن كل كوكب من الكواكب يبدو منعزلا في الفضاء في حيزه الذي هو فيه ويبدو كأنه تكون لوحده معزولاً عن بقية الكواكب.

إن مدارات معظم الكواكب قريبة جداً من الشكل الدائري (عدا مداري عطارد وبلوتو المفلطحين).

إن جميع مدارات الكواكب تقع في مستوي واحد تقريباً.

إن إتجاه دوران الكواكب حول الشمس هو نفس اتجاه دوران الشمس حول نفسها.

إن إتجاه دوران الكواكب حول نفسها هو نفس اتجاه دوران الشمس حول نفسها (عدا كوكب الزهرة الذي يدور بالعكس وأورانوس).

إن إتجاه دوران معظم الأقمار حول كواكبها هو نفس اتجاه دوران الكواكب حول الشمس (عدا ترايتون قمر الكوكب نبتون).

من الناحية التكوينة تتمايز الكواكب إلى صنفين: كواكب أرضية ذات تكوين مشابه لتكوين الأرض،وكواكب مشتروية مماثلة في تكوينها لكوكب المشتري.

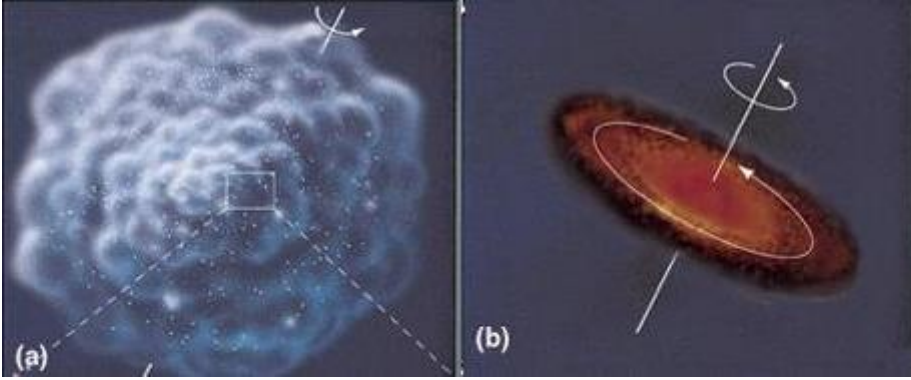
يظهر أن مجموعة الكويكبات مؤلفة من أجرام قديمة التكوين وتتميز بميزات تكوينة خاصة. أما من حيث الحركة المدارية فهي مماثلة للكواكب.

تتألف المذنبات من مواد بدائية كالتلج ودقائق الغبار والغازات ومداراتها لا تماثل مدارات الكواكب بل هي كثيرة التفلطح كما أنها لا تقع بالضرورة في المستوي الاستوائي للشمس.

تؤشر هذه الملاحظات أن النظام لشمسي هو تكوين على درجة راقية من التطور، وأن هذا التكوين قد تألف في وقت واحد وفق نظم تكوينية متكاملة. وعلى الرغم من قدم التفكير في أصل النظام الشمسي فإن النظرية الكاملة التي تفسر جميع خصائصه لازالت بعيدة المنال. وهنالك نظريتان في الوقت الحاضر أحدهما قديمة أصبحت جزءاً من التاريخ والأخرى حديثة لكنها تحتاج إلى كثير من التطوير.

النظرية السديمية

في عام 1796 وصف بيير لابلاس انكماش كتلة سديمية مؤلفة من غازات وأتربة وتحولها إلى قرص. وأثبت رياضياً أن السرعة الدورانية لمثل هذه الكتلة السديمية سوف تتزايد كلما إنكمش حجمها. وعلى أساس هذه الفكرة حاول إيمانويل كانت تفسير نشأة النظام الشمسي من سحابة سديمية هائلة ربما كان قطرها آلاف الملايين من الكيلومترات إنكمشت فتكون في مركزها كتلة كبيرة من المادة. ثم صارت تنكمش باستمرار ومع انكماشها تزايدت درجة حرارتها حتى صارت كما هي عليه الشمس.



الشكل (9-7) تكوين النظام الشمسي وفق النظرية السديمية

وقد رصد الفلكيون حديثا أحد النجوم وهو بيتا بكتورس وكما يتضح من الشكل(9-7) فإن هذا النجم هو في طور التكوين يحف به قرص سديمي هائل ساخن. وهذا ماجعل البعض يعتبره تأكيداً أرصاديا للنظرية السديمية.



الشكل (9-8) نجم بيتا بكتورس

نظرية التكاثف Condensation theory

لذلك تم تعديل النظرية السديمية وفق منظور جديد وذلك بافتراض أن مادة السديم تتألف من كتل ترابية وثلجية مجهرية يكن أن تصبح نواة لتكاثف

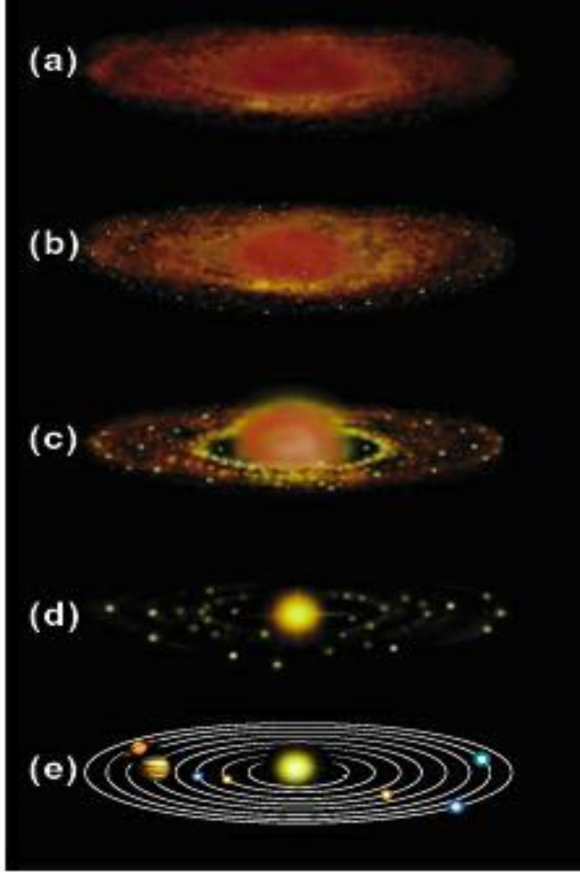
المادة السديمية عليها وحيثما يكون التكاثف أعظماً يكون النجم الأولي الذي يتطور لاحقا إلى نجم كامل (أو الشمس) أما في المناطق الأخرى فتتألف كويكبات صغيرة. ونظراً للجاذبية العالية التي في المركز حيث يكون النجم فإن اتجاه دوران الكواكب يكون بنفس اتجاه دوران النجم. ووفقاً لهذه النظرية ينشأ النظام الكوكبي عبر ثلاث مراحل: حيث تتألف في المرحلة الأولى نوى تجميع تكون بمثابة نقاط تتكدس عليها المادة تدريجياً. وهكذا تتجمع المادة حتى يتألف جرم قطره بضع مئات من الكيلومترات. وفي نهاية هذه المرحلة تكون المنظومة الشمسية مؤلفة من نجم أولي في المركز تحف به ملايين الكواكب الصغيرة التي هي أشبه بأقمار تطوف ول الشمس في مدارات شبه دائرية وتسبح في بحر من الأتربة والغازات التي تملأ المسافات البينية.

وفي المرحلة الثانية تتجمع هذه الأقمار على بعضها البعض لتؤلف كتلاً أكبر وأكبر. وبالتالي تتزايد شدة مجالها الجاذبي فتعمل عندئذ على جذب الكتل الأخرى إليها. وهكذا تزداد كتلها ويكبر حجمها.

وفي المرحلة الثالثة تحصل تصادمات كثيرة بين الكواكب بسبب انجذاب بعضها إلى البعض الآخر مما يؤلف عددا كبيرا من الكِسف الصغيرة وهذه الكسف تجذبها الكواكب إليها مرة ثانية إلا أن عدداً قليلاً منها يستطيع الافلات فيبقى في أفلاك شبه دائرية حول الشمس مؤلفاً حزام الكويكبات الذي بين المريخ والمشتري. وبموجب هذه النظرية وخلال 100 مليون سنة يكون النظام الشمسي الأولي قد تكوّن من شمس اولية وتسع كواكب وعشرات الأقمار الدائرة حول الكواكب.

يعزو أصحاب هذه النظرية عدم وجود بقية من الغازات والأتربة التي تكون عنها النظام الشمسي إلى أن النشاط الشمسي المميز الذي شهدته الشمس في أول عهدها قد ولّد عصفا قوياً من الرياح جعل الغازات والأتربة المتبقية بين الكواكب تندفع إلى مسافات بعيدة خارج النظام الشمسي لتؤلف المادة البينجمية.

وتفسر نظرية التكاثف التوزيع التفاضلي للمادة في النظام الشمسي على أسس التوزيع الحراري التي كانت في القرص السديمي الشمسي، وهنالك كثير من الفرضيات والتخمينات في هذا الجانب. كما تفسر النظرية وجود المذنبات بطريق مماثل.



الشكل (9-9) مراحل تكوين النظام الشمسي وفق نظرية التكاثف

عموماً يمكن القول أن النظرية المتكاملة التي تفسر نشوء النظام الشمسي لازالت غير متوفرة وإن مزيداً من الدراسات والأبحاث مطلوب فعلاً لغرض وضع تصور متكامل عن نشأة النظام الشمسي. ولعلنا في هذا الصدد نحتاج إلى نظرية جديدة في الجاذبية تعني هذه المرة بتقديم صورة دقيقة عن تصرف الجاذبية

الضعيفة جداً، وحيث كانت نظرية النسبية العامة قد قدمت تفسيرها الدقيق للجاذبية واختلفت مع التصور النيوتني في تفسير الظواهر الحركية الحرة في الأنطقة الجاذبية الشديدة فإن من الأرجح أن نحتاج إلى نظرية جديدة تضم تصحيحاً لنظرية نيوتن في الأنطقة الجاذبية الضعيفة، وذلك لأن نظرية التكاثف التي ذكرناها لا تفسر المدارات شبه الدائرية التي تدور فيها الكواكب.

الفصل العاشر
نظم شمسية أخرى

من المعروف أن شمسنا ليست الوحيدة في هذا الكون بل هي واحدة من ملايين الملايين من الشموس التي تتوزع في هذا الكون. فالنجوم التي نراها في السماء هي ليست إلا شموس بعيدة، بعضها مثل شمسنا وأخرى أكبر منها وأخرى أصغر منها. لكنها جميعا شموس تحرق الهيدروجين والهليوم عبر عمليات الاندماج النووي لتنتج الطاقة. والدارس الباحث في كيفية نشأت هذه النجوم يرى أنها جميعا تتبع سياقاً عاما واحدا في النشأة والتطور. لكنها تختلف قليلا أو كثيرا في المصير. لذلك لابد للباحث ن أن يستنتج أن هنالك منظومات شمسية مماثلة لمنظومتنا الشمسية، فيها كواكب تختلف قليلاً أو كثيراً عن كواكب منظومتنا الشمسية. لكننا هنا ينبغي أن نضع في حسباننا **حقيقتين أساسيتين**: الأولى هي أن الهيدروجين هو العنصر الأكثر شيوعاً في الكون حيث تبلغ نسبته بحدود 76% يليه الهليوم الذي تبلغ نسبته حوالي 23% بينما تؤلف بقية العناصر الأثقل من الهليوم نسبة لا تزيد على 1%. والحقيقة الثانية هي أن جميع العناصر الأثقل من الهليوم تتكون في باطن النجوم الكبيرة حيث يتم تركيبها تباعاً من العناصر الخفيفة بدءاً من الهيدروجين والهليوم من خلال عمليات الاندماج النووي المتواصلة التي تسمىعمليات التخليق النووي Neucleothynsis. مما يعني أن مقومات الحياة لن تتوفر في أي من نجوم الجيل الأول إذ لابد أن تتوفر عناصر مهمة كالكربون والأوكسجين والنتروجين والفسفور لتكوين أوليات المواد العضوية اللازمة للمركبات الحيوية.

وإذا ما علمنا أن في الكون ما لايقل عن مائة ألف مليون مجرة وأن في كل مجرة ما لا يقل عن مائة ألف مليون شمس، فإن من المعقول جداً أن نتوقع وجود عدد كبير من المنظومات الشمسية في هذا الكون الهائل. بالتأكيد فإن نجوم هذه المنظومات يجب أن تكون من الجيل الثاني على الأقل إذا كانت كوكبها لتتألف من مواد غير الهيدروجين والهليوم. وفي حالة كونها من الجيل الأول فإنها لا يمكن أن تؤلف إلا ثنائيات أو ثلاثيات نجمية وهذا النوع من التراكيب النجمية شائع أيضاً في

الكون. ومن خلال معرفتنا بعلاقة الكتلة وسرعة الاندماجات النووية وبالتالي أعمار النجوم يمكننا القول أنه لابد وأن نشأت في العصور الأولى لحياة الكون نجوم عملاقة أحرقت الهيدروجين والهليوم والكربون بسرعة لتكوين العناصر الأثقل.

لم يكن استكشاف النجوم البعيدة ممكنا إلا خلال العقود الأخيرة. وقد مكننا تطور التقنيات البصرية وتقنيات التحليل الطيفي من تحقيق انجازات كبيرة على صعيد اكشاف منظومات شمسية أُخرى. وخلال السنوات العشر الماضية تم اكتشاف ما يزيد على 100 منظومة شمسية. وجميع هذه المنظومات تابعة بالطبع إلى مجرتنا، لأن استكشاف نجوم المجرات الأخرى لا زال أمراً بعيد المنال.

طرق اكتشاف الكواكب في نظم شمسية أخرى

يمكن القول أن تقنيات استكشاف الكواكب خارج منظومتنا الشمسية لا زالت في بدايتها. ومن الطبيعي أن يتم أولا استكشاف الكواكب عظيمة الكتلة التي هي من عيار كوكب المشتري (ولذا تسمى هذه بالكواكب المشتروية Jovian Planets). وهنالك عدة طرق لاكتشاف الكواكب خارج منظومتنا الشمسية وأهمها هي:

طريقة تحليل طيف دوبلر: Doppler Spectroscopy

وهي الطريقة الأكثر شيوعاً. وتعتمد على مبدأ أن النجم الذي تدور حوله كواكب ذوات كتل كبيرة نسبياً تتولد له حركة ذاتية تتمثل بدورانه حول مركز الكتلة المشترك. ومن خلال دراسة طيف النجم وتحليل الخطوط الطيفية ومقادير ازاحاتها الدوبلرية يمكن للباحث أن يحسب سرعة دوران النجم حول مركز الكتلة ومنه يمكن حساب كتلة الجسم الثاني المخفي. وقد تمكن الفلكيون من حساب سرعات بطيئة نسبياً بحدود 3 متر في الثانية. وهذا يعني امكانية اكتشاف كوكب كتلته لاتقل عن 33 مرة قدر كتلة الأرض يدور حول شمس مماثلة لشمسنا.

طريقة تغير سطوع النجم: Transit Photometry

وتعتمد هذه الطريقة على قياس التغير الدوري في سطوع النجم عند مرور الكوكب أمامه ومنه نستطيع تقدير حجم الكوكب ومن ذلك نستطيع حساب كتلة الكوكب. ومن مثالب هذه الطريقة ان الكواكب التي لها فترة دوران تزيد على السنتين لا يمكن كشفها بهذه الطريقة لأن إمكانية انتظامها على خط واحد مع مجال النظر ضعيف جداً. فضلاً عن ذلك فإن ميل مستوي مدار الكوكب يؤثر في دقة القياس وفي بعض الحالات يصعب اكتشاف الكوكب إذا كان ميل مستوي مداره كبيراً.

الطريقة الأسترومترية: Astrometry

وتعتمد على قياس تغير دوري في موقع النجم نتيجة لتأثير كوكب مرافق له يدور حوله. ويقاس التغير في موقع النجم بالملي ثانية قوسية. فإذا كان التغير في الموقع بمقدار 2 ملي ثانية قوسية فإن ذلك معناه وجود كوكب كتلته 6.6 قدر كتلة الأرض يدور حول نجم بمثل كتلة الشمس ويبعد 10 بارسك من الأرض. ويستطيع تلسكوب كيك أن يقيس تغيراً في مواقع النجوم بمقدار 20 مايكروثانية قوسية. وهذا يعني أنه يستطيع الكشف عن كوكب كتلته 66 مرة قدر كتلة الأرض يدور حول نجم مثل شمسنا يبعد عنا مسافة قدرها 10 بارسك في مدار مثل مدار الأرض عنها.

طريقة تغير الدور النبضي:

وتعتمد هذه الطريقة على قياس التغير الدوري في دور نبض البلسارات. وهذه هي نجوم ميتة وبقايا انفجار السوبرنوفا. ومثل هذه الكواكب الناشئة من رماد السوبرنوفا قليل جداً.

يبين الشكل (10-1) رسماً بيانيا لبعض الكواكب المكتشفة وفيه تظهر العلاقة بين كتلة الكواكب وأبعادها عن النجوم التي تتبع لها. من المتوقع أن

تتصاعد وتيرة البحث عن كواكب جديدة في منظومات نجمية أخرى داخل مجرتنا ومن المتوقع أن يتم اكتشاف كواكب جديدة ذوات كتل مماثلة لكتلة أرضنا، حيث يجري الآن تطوير الكثير من التقنيات الجديدة كما يجري الاعداد لاطلاق أقمار صناعية خلال الأعوام القادمة مخصصة لمهمات البحث عن منظومات شمسية جديدة واستكشاف امكانية وجود حياة في مناطق أخرى من الكون.

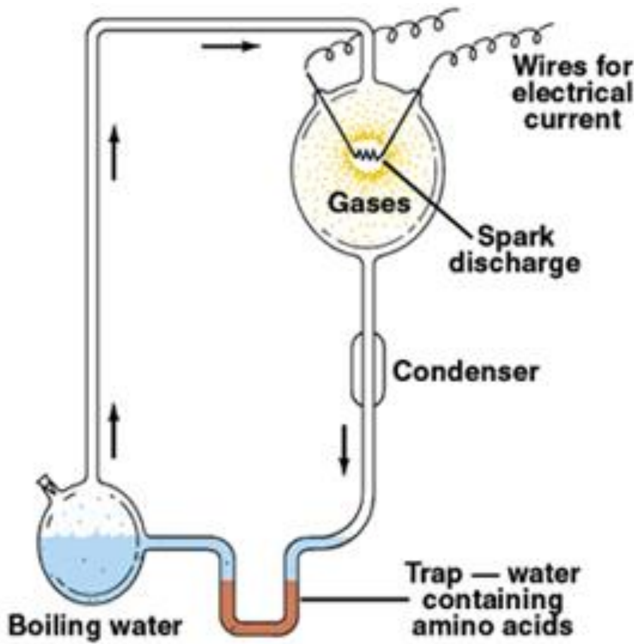
الحياة خارج الأرض

أوليات الحياة على الأرض

يعتقد معظم الباحثين في شوؤن الحياة والبيئة اليوم أن الحياة على الأرض بدأت من تفاعلات كيميائية بين جزيئات معقدة سادت جو الأرض وسطحها في بداية عهدها. ويعود تاريخ هذا الاعتقاد إلى عهد تشارلز دارون على الأقل، وقد تعزز هذا الاعتقاد عام 1953 عندما قام ستانلي ميلر (أيام كان طالب دراسات عليا في جامعة شيكاغو) وأستاذه البروفسور هارولد يوري بتجربة بهذا الشأن. فقد ملأ ميلر ويوري دورقاً زجاجياً معقماً بالماء والهيدروجين والميثان والأمونيا، وهي غازات كان يعتقد بوجودها في الغلاف الجوي الأرضي الفتي. ثم مررا شرارة كهربائية عبر هذا المزيج فولدت الشرارة ضوءاً مرئياً وإشعاعاً فوق البنفسجي مما أدى الى حدوث تفاعلات كيميائية في مزيج الماء والغاز. ثم قاما بتحليل المزيج بعد أسبوع فوجدا فيه جزيئات عضوية مختلفة، إضافة إلى خمسة أحماض أمينية تستخدم لصنع البروتينات. وكان استنتاجهما أن بعض المحتويات في المزيج هي محتويات ضرورية للحياة تولدت تلقائياً على ظهر الأرض.

وقد حمل نجاح تجربة ميلر ويوري باحثين آخرين على إجراء تجارب مماثلة أكثر تعقيداً؛ فقام الكيميائي الأمريكي سيدني فوكس مثلاً بتجارب على جزيئات عضوية معقدة كتلك المتولدة في تجربة ميلر ويوري، فسخنها وبرّدها في الماء فتمكن من تخليق جدائل بروتينية تدعى **أشباه البروتينات** Proteinoids، بل إنه توصل إلى

نتائج أكثر أهمية؛ إذ بين أن أشباه البروتينات هذه كونت تلقائياً قطيرات شبيهة بالخلايا، إلا أنها تفتقد القدرة على التكاثر، كما أنها تخلو من أية بنية معقدة كتلك التي نشهدها في الخلايا الحية، لكنها مع ذلك تكشف النقاب عن إمكان قيام المادة العضوية تلقائياً بتكوين بنية لها، وعزل هذه البنية عن المحيط من حولها، وهي أمور يحتمل حدوث مثيل لها في الكائنات الحية الأولى.



الشكل (10-2) جهاز ميلر. يوري

وقد وجد أن من الممكن توفير حاجات الكائنات الحية من الطاقة عن طريق تجارب على غرار تجارب ميلر . يوري؛ فقد أثبت الكيميائي البيولوجي السيريلانكي سيرل بونامبيوما إمكان تركيب الـ ATP مباشرة من مركبات مماثلة لتلك المتولدة في تجربة ميلر ويوري، ومن ثم إمكان تحقيق خطوة أخرى إضافية في خلق مادة حية من مادة غير حية.

لماذا إذن لا نشهد أموراً كهذه تجري في حياتنا اليومية على الأرض؟ إن أحد أسباب ذلك هو احتواء غلافنا الجوي على الأوكسجين الذي يقوم بمهاجمة الجزيئات العضوية فيفتتها. وهكذا فإن غياب الأوكسجين الذي ساد الفترة الأولى من تاريخ الأرض، وهو ما جرى التحقق منه بتحليل الصخور القديمة، ربما كان له دور حاسم في تطور الحياة على ظهر الأرض.

تتكون لدى العلماء الذين يدرسون منشأ الحياة على سطح الأرض قناعة أكيدة أن مواد كتلك المتولدة في تجربة ميلر ويوري كانت موجودة على الأرض في بداية تكونها. فإن أحد مصادر المادة العضوية هو المادة البينجمية، حيث أن الكثير من السحب البينجمية يشتمل على مزيج غني من الجزيئات العضوية، بما في ذلك الجزيئات التي هي أسلاف الأحماض الأمينية. ولما كانت المجموعة الشمسية قد تكونت من سحب كهذه، فلا بد إذاً من وجود الجزيئات العضوية المعقدة على الأرض أو قريباً منها منذ ولادة الأرض. وحتى لو حدث تدمير لهذه الجزيئات خلال تكون الأرض، فإن جزيئات أخرى جديدة يمكن أن تكون قد انتقلت إلى سطحها بفعل النوى الكوكبية نتيجة ارتطامها العنيف والمتكرر بها. وفي الحقيقة فإن الشهب العقيدية الكربونية – التي قد تكون شظايا من مخلفات النوى الكوكبية القديمة – غنية بالمادة العضوية، بل إن بعضها يحتوي على أحماض أمينية. وأخيراً فقد برهن بعض العلماء تجريبياً على أن انضغاط الغازات وارتفاع درجة حرارتها الناتج عن ارتطام النوى الكوكبية بالأرض يمكن أن يكون له أثر مماثل لعمليات التفريغ الكهربائي التي استخدمها ميلر ويوري لتكوين المواد العضوية المركبة. ومن ثم فعلماء الفلك على ثقة بأن الجزيئات العضوية كانت منتشرة على الأرض في غابر الزمن.

من جهة أخرى، إذا افترض المرء وجود المادة العضوية على الأرض في بداية عهدها (سواء تولدت هذه المادة بفعل البرق أو بالإشعاع فوق البنفسجي أو قصف النوى الكوكبية) فإن مراحل كثيرة يتعين اجتيازها لنقلها من قطيرات مملوءة

بالأحماض الأمينية وموجودة في البحر البدائي إلى خلايا حية. فالبنى المتخلقة مثلاً ينبغي أن تكون قادرة على التكاثر، وهي سمة لم نشهدها في أي من التجارب المتعلقة بمنشأ الحياة. لذلك تبقى هذه المسألة غير مفهومة علمياً حتى الآن.

تتضاعف الخلايا هذه الأيام باستخدام جزيئة DNA مضاعفة التسلسل. على أن بعض الباحثين يعتقدون بأن أشكال الحياة الأولى استخدمت الجزيئة الأبسط أي الحامض الريبي النووي Ribose Nucleic Acid أو RNA اختصاراً. وقد برهن علماء الكيمياء الحيوية أنه إذا توافرت المواد الكيميائية المناسبة (ولاسيما أنزيمات معينة) فإن RNA يمكنها أن تتضاعف بغياب الخلايا الحية. كما اكتشفوا جزيئات أخرى كثيرة ذات بنية أبسط بكثير من بنية RNA يمكنها أن تتضاعف، إلا أن هذا التضاعف لا يتعدى في معناه – حتى اليوم – تضاعفاً "ميكانيكياً"، بمعنى أنه إذا وضعت جزيئات كهذه في محلول حاو على المواد الأولية الضرورية فإنها تولد نسخاً هي صورة طبق الأصل عنها، بل إن إحدى عمليات تهاجن الجزيئات لا تقتصر على التضاعف فقط بل قد "تطفر" أبعد من ذلك لإنتاج سلالات محسنة. ومع هذا فإن متطلبات توليد الحياة بالشكل الذي نعهده هي كبيره وبعيدة المنال. ونذكر على سبيل المثال أن أشكال الحياة البسيطة ينبغي أن تكون قادرة على تكوين خلايا تعمل بشكل جماعي.

نشوء الكائنات الحية المعقدة

يغلب على الظن أن الحياة الخلوية البدائية على الأرض كانت أبسط بكثير من حياة الخلايا التي نشهدها اليوم. فالخلايا البدائية كانت تفتقر مثلاً إلى النوى – وهي حالة لا نجدها اليوم إلا في البكتيريا وفي أنواع معينة من الطحالب. تسمى الخلايا من هذا النوع نوى طليعية Prokaryotes، وقد يكون ما حدث هو اندماج هذه النوى الطليعية مع خلايا أخرى فأفادت من ذلك كلتا الخليتين، إذ سمح لهما بالتكاثر والنمو بسرعة أكبر. فإذا اتحدث على سبيل المثال خلية جيدة الاختزان

للطاقة بخلية جيدة التكاثر تولدت خلية أكثر تعقيداً. من مثل هذه البدايات البسيطة ربما نشأت حقيقيات النوى eukaryotes (أي الخلايا ذات النوى)، تلتها المتعضيات متعددة الخلايا. أما الخلايا اليوم فإن لمعظمها غشاء معقداً يمسك بها جميعاً بحيث يسمح للغذاء بالدخول وللفضلات بالإنطراح. أضف إلى هذا أن معظم الخلايا غير البكتيريا وبعض الطحالب هي ذات نوى تختزن المعلومات الوراثية، وكذلك الحبيبات الخيطية mitochondria وهي أجسام دقيقة داخل الخلية تحول الغذاء إلى طاقة تستفيد الخلية منها.

إن من شأن التعقيد المطرد للكائنات متعددة الخلايا أن يتيح لها في بعض الحالات استثمار مصادر غير متاحة للكائنات الأبسط، فمثلاً المتعضي القادر على التحرك من وسط تغذية فقير إلى وسط أغنى يمكنه التكاثر بنجاح أكبر من كائن ساكن لا يتحرك. وهكذا فإن اشتراك مزايا التكاثر هذه مع متغيرات البيئة قادت إلى هذا التنوع العجيب في الحياة الذي نشهده اليوم. والواقع أن هذه المزية التكاثرية (الانتخاب الطبيعي)، مضافاً إليها الطفرات العشوائية، تؤدي دوراً حاسماً في نشوء وارتقاء بعض الأنواع الأعلى رتبة، كما أوضح ذلك تشارلز دارون Charles Darwin عام 1859 في كتابه البارز في أصل الأنواع والانتخاب الطبيعي.

هذه العمليات المتقدمة كلها، برغم كونها افتراضية، تحمل عدداً كبيراً من العلماء على الاعتقاد بأن الحياة على ظهر الأرض بدأت تلقائياً أو طبيعياً. ومع هذا فإن بعض العلماء لا يقرون بذلك، فيعتقد البعض أن الحياة بدأت خارج كوكب الأرض ثم انتقلت إلى الأرض إما بالصدفة أو عن عمد.

نظرية النشأة الخارجية

ثمة اعتقاد بأن الحياة الأرضية انطلقت من متعضيات خارج كوكب الأرض في مكان ما من الكون. تسمى هذه النظرية أحياناً بنظرية النشأة الخارجية. وبحسب هذه النظرية، فإن أشكال الحياة البسيطة (ولعلها البكتيريا) انحرفت من موضع

نشأتها عبر الفضاء إلى الأرض. فمثلاً قد تكون بذرة بكتيريا من كوكب ناء قد التصقت بجسيمات غبارية أثارتها الرياح أو الثورانات البركانية حتى بلغت أعلى الغلاف الجوي للكوكب، ومن ثم انتقلت هذه الجسيمات إلى الفضاء مسوقة بضغط الإشعاع الصادر عن النجوم أو الرياح النجمية إلى مكان آخر. وعلى الرغم من أن الفضاء وسط غير ملائم أبداً لأشكال الحياة المتطورة، فإن بإمكان المتعضيات البسيطة أن تبقى على قيد الحياة مدداً طويلة إذا كانت دفينة في حبيبات الغبار أو محمية بوسيلة ما. ثم انتهى المطاف بهذه الحبيبات إلى المنظومة الشمسية حيث أصبحت رهينة الثقالة الأرضية. وبتهاوي هذه الحبيبات على سطح الأرض أصابها الغبار فبث الحياة في كوكبنا.

ولنظرية النشأة الخارجية وجه يغري بالقبول، فهي تبين أن أصولنا تحدرت من مكان ما في الكون، وهي نظرية شاع انتشارها في مطلع هذا القرن، غير أن نقادها يشيرون إلى أنها لا تبسط في الواقع مسألة نشأة الحياة، وإنما تنقلها إلى مكان آخر ليس إلا. أضف إلى ذلك أنها تتطلب نقل الحياة إلى الأرض، وهي رحلة تحف بها المخاطر حتى للبكتيريا. وهكذا فقد زهد الناس بهذه النظرية تدريجياً.

الحياة خارج الأرض

شغل هذا الموضوع أفكار الناس لآلاف السنين. فقد أشار أفلاطون وأرسطو إلى أن الأرض هي المقر الوحيد للحياة، وسادت هذه النظرة خلال القرون الوسطى بأكملها تقريباً. أما اليوم فقد تأثر الناس بأفلام الخيال العلمي وبالكتب التي تؤلف في هذا الإطار، ومن ثم فهم لا يجدون صعوبة البتة في الاعتقاد بوجود حياة خارج كوكب الأرض. أما إذا استعرضنا الحقائق، فليس ثمة دليل على وجود الحياة هناك، علماً بأن هذا لا ينفي وجود حياة ما خارج كوكبنا، وإنما يشير إلى أننا نجهل الأمر. فهل يمكننا، دون توفر الدليل، أن نقول كلاماً ذا معنى حول الحياة في الكون خارج كوكبنا الأرضي؟

هل نحن وحيدون في الكون؟

هل توجد أشكال أخرى للحياة في الكون؟ هل يوجد في مكان ما على بُعد مئات السنين الضوئية من الأرض "طالب غريب" يقرأ كتاباً يبحث في إمكان وجود حياة على كواكب أخرى كالأرض؟ لا يعرف العلماء جواباً عن تساؤلات كهذه، وهم منقسمون بهذا الشأن إلى فئتين، تعتقد إحداهما (ولنطلق عليها اسم "أنصار العوالم الكثيرة") بوجود ملايين الكواكب المأهولة في مجرة درب التبانة وحدها، بل إن الكثير من هذه الكواكب تعيش فيها حضارات متطورة. أما الفئة الأخرى (ولنطلق عليها اسم "أنصار العالم الفريد") فترى أننا الوحيدون في هذا الكون الذين يتمتعون بحياة ذكية. وسنتناول فيما يلي كيف برزت وجهتا النظر هاتان.

دعاوى أنصار العوالم الكثيرة

يعتمد أنصار العوالم الكثيرة على وجهة النظر التالية: إن الكواكب الشبيهة بالأرض كثيرة. أما وقد تكونت الحياة على سطح الأرض، فمن الغرابة بمكان عدم وجودها في مكان آخر. وفي الحقيقة فإنه لو وجدت حياة في جزء بسيط من هذه الكواكب، فإن احتمال وجود حضارات متقدمة سيكون قائماً. قد يقود النقاش هنا إلى تقدير منقوص جداً للحقيقة حول عدد الكواكب الصالحة للعيش فيها، لأن الكواكب الأخرى قد تحتوي أنماطاً قد تكون قادرة على الحياة في بيئات لا تحتمل المتعضيات الأرضية العيش فيها. وتوطئة لاستنتاج عدد تلك الكواكب، فلتبدأ بتقدير عدد الكواكب الشبيهة بالأرض في مجرة درب التبانة، نتساءل أولاً عن عدد النجوم الشبيهة بالشمس في مجرة درب التبانة، مقتصرين على أمثال هذه النجوم فقط، ذلك لأن النجوم الساطعة بلون أزرق تحرق وقودها بسرعة، وفي هذه الحالة سيكون مصيرها الانفجار على هيئة مستعرات عظمى Supernova قبل أن تتاح الفرصة الكافية لتطور الحياة فيها، بخلاف النجوم الحمراء الداكنة التي تكون باردة، الأمر الذي يستدعي أن تكون الكواكب متاخمة لها إلى حد يجعل الظروف

الحرارية دافئة بما يكفي لقيام نوع من الحياة يحاكي الحياة على سطح الأرض. وضمن إطار هذا التقييد لأنواع النجوم، وجد أن 10% من نجوم مجرة درب التبانة هي نجوم شبيهة بالشمس، من إجمالي عددها الذي يقارب 10^{11} نجم.

نتساءل الآن كم من هذه النجوم ذات كواكب شبيهة بالأرض؟

تشتمل مجموعتنا الشمسية على كوكبين من أصل تسعة يمكن أن تستقر فيهما حياة كالتي نعرفها. وهذان الكوكبان هما الأرض والمريخ. وإذا كنا متحفظين فيما يتعلق بمجموعات أخرى، وفرضنا أن احتمال استمرار الحياة في الكواكب الدائرة حول النجوم الشبيهة بشمسنا هو واحد من عشرة فإن الـ 10% من الـ 10^{10} نجم الشبيهة بشمسنا يضع أمانا 10^{9} كوكب صالح للحياة.

فكم كوكباً من هذا العدد توجد عليه حياة فعلية؟

تعتمد الإجابة عن هذا التساؤل على درجة سهولة تكون الحياة، وهي سهولة تشير تجربة ميلر – يوري على أن درجة احتمالها عالية، على حين يرى بعض الفلكيين أنه احتمال منخفض جداً. وفي هذا السياق شبه عالم الفيزياء الفلكية البريطاني فرد هويل Fred Hoyle احتمال منشأ الحياة تلقائياً بعاصفة تهب على ساحة مليئة بالخردة المعدنية وغيرها فتتجمع منه بالصدفة طائرة جامبو 747 بكامل معداتها!! وتكمن الصعوبة في تقدير ذلك الاحتمال في أنها تعتمد على حالة فريدة من الحياة ألا وهي حياتنا على وجه الأرض. ومع ذلك فإذا اعتمدنا الأرض معياراً، فإن سرعة تطور الحياة على سطحها، وكذلك نجاح تجربة ميلر – يوري، فإن احتمال نشأة الحياة بهذه الصورة احتمال كبير ربما يصل إلى واحد من مائة، وليس واحداً من مليون. فإذا سلمنا بهذا الاحتمال فإننا نجد أن عدد العوالم التي يمكن أن تنشأ فيها حياة في مجرتنا هو $10^{7}=0.01\times10^{9}$.

نخطو الآن خطوة أخرى فنتساءل:

كم عدد الحضارات المتقدمة التي يمكن أن توجد في الكواكب التي على ظهرها حياة؟

إن فرض نشأة حياة أعلى يمكن أن تكون كبيرة جداً أو صغيرة جداً. وهنا أيضاً يقف العلماء حائرين. فحتى لو نشأت الحياة بنجاح، فإنها قد تنمحق بفعل ارتطام الكويكبات، وهب أنها تمكنت من استحداث تقنية عالية، وكانت في الوقت ذاته متعجلة وغير مدروسة، فقد تدمر الحياة ذاتها بفعل التلوث أو الحرب النووية أو نتيجة كوارث أخرى، وعندها سيكون احتمال تطوير حضارة تقنية كاحتمال الواحد من عشرة آلاف. وهكذا نجد أن عدد الحضارات المتقدمة في مجرتنا هو:

$$\mathbf{10^7 \times 0.0001=1000}$$

وإذا أخذنا بعين الاعتبار وجود مليارات المجرات الأخرى، فإنه يبدو أن احتمال وجودنا وحيدين في هذا الكون احتمالٌ بعيد. وكان أول من تقدم بما عرضناه من نقاش الفلكي الأمريكي فرانك دريك Frank Drake الذي أشار إلى أن بإمكان المرء أن يحصل على تقدير عدد الحضارات خارج أرضنا بحساب احتمالات حدوث كل شرط لازم لها. وتسمى المعادلة الناتجة "معادلة دريك" نسبة إليه.

ولسوء الحظ فإن دقة الاحتمالات مجهولة تماماً، فلربما كانت الكواكب الشبيهة بالأرض على سبيل المثال أقل بكثير مما قدرناه، وربما قادت الظروف السائدة فيها إلى نشأة أشكال حياة مغايرة تماماً لتلك التي على ظهر الأرض بحيث يتعذر علينا تمييز الحياة هناك. أضف إلى هذا أنه حتى لو نشأت أشكال حياة مماثلة لشكل حياتنا في مكان آخر، فإن المدة الزمنية المتاحة لنا للاتصال بأصحابها ستكون ضئيلة جداً بحيث تضيع الفرصة سدى. ولنضرب على ذلك مثلاً، فلو وجدت حضارة على المريخ منذ عهد قريب لا يتعدى مئة عام خلت، فإن اتصالنا بالراديو بهذه الحضارة لم تكن متاحة، ولو حدث خلال تلك الفترة أن دمّرت هذه

الحضارة نفسها بشكل من الأشكال، فهذا يعني أننا فقدنا أمل الاتصال بها إلى الأبد. وهكذا نرى أن الجواب الذي تعطيه "معادلة دريك" مفعم بالارتيابات. ومع ذلك فإنه في أسوأ الحالات توحى المعادلة بوجود العديد من الحضارات غير حضارتنا في هذا الكون. وإذا افترضنا وجود هذه الحضارات فلنا أن نتساءل عن أقربها إلينا. يمكننا تقدير ذلك البعد كما يلي:

لنفترض أن مجرة درب التبانة تشتمل على عدد من الحضارات قدره N مبعثرة فيها عشوائياً، بإمكاننا حساب المسافة الوسطى الفاصلة بين هذه الحضارات ونرمز لها بـ r كما يلي: تصور إننا رسمنا كرة نصف قطرها r/2 حول كل عالم متحضر، عندها يملأ عدد من الكرات مساوياً لـ N حجم درب التبانة أي إن:

$$\frac{4\pi}{3}\left(\frac{r}{2}\right)^3 N = \frac{4\pi}{3} R^3$$

حيث افترضنا للسهولة أن مجرة درب التبانة هي كرة نصف قطرها R. وبهذا نجد:

$$r = \frac{2R}{N^{1/3}}$$

ولحساب *r*، ومن ثم لإيجاد بُعد جوارنا عنا، نضع قيمة *R* والتي نأخذها مساوية 40000 سنة ضوئية، وN=1000، كما وجدنا من عدد الحضارات التقنية. وهكذا نجد أن قيمة *r* تساوي 8000 سنة ضوئية. اي أن أية اشارة نرسلها إلى أقرب حضارة سوف تستغرق 16000 سنة لكي نحصل على جوابها. يتضح في ضوء ذلك أنه حتى لو وجد هذا العدد الكبير من الحضارات في مجرتنا فإنها متباعدة عن بعضها بمسافات شاسعة، الأمر الذي يجعل إمكان تبادل المعلومات معها أمراً بعيد المنال.

أنصار العالم الفريد

يرى أنصار العالم الفريد أننا الوحيدون في مجرة درب التبانة الذين نمتلك حياة متطورة، ويعتمدون في نظرتهم هذه على السرعة التي انتشر بها الجنس

البشري في أنحاء الأرض، وعلى المقدرة الكامنة لانتشاره في مجرة درب التبانة. يدعي أنّصار العالم الفريد أن حضارة سابقة أتقنت غزو الفضاء سوف تحتاج إلى بضعة آلاف من السنين حتى تستعمر مجموعات كوكبية مجاورة لموطنها الأصلي ولسوف تتمكن هذه الحضارة من غزو المجرة بأكملها خلال بضعة ملايين من السنين، ويضيفون بأنه ما إن يحدث هذا الاستعمار فإن الحضارة تغدو بسرعة على تماس مع الحضارات الأخرى، إما بالوسائل المباشرة أو من خلال الاتصالات الراديوية. ولما كنا لا نشهد اتصال حضارات أخرى بنا، فإن ذلك دليل على انعدام وجود حضارة قريبة منا، ومن ثم فنحن على الأرجح وحيدون في مجرة درب التبانة، أو قد نكون وحيدين مع حضارات أخرى قليلة لا يتجاوز عددها عدد أصابع اليد. ومع هذا فإن حجج أنصار العالم الفريد شبيهة بحجج أنصار العوالم المتعددة من حيث أنها تستند إلى العديد من الفرضيات التي تفتقر إلى دليل. فهي تفترض مثلاً ما يلي:

1. إن معظم الحضارات تسعى إلى الاستعمار.
2. إنها تسعى إلى الاتصال بالغير.
3. إنها برعت في تقنيات الاتصالات والانتقال عبر الفضاء بين النجوم.

البحث عن الحياة خارج كوكبنا

هل يوجد دليل على الحياة في هذا الكون خارج كوكبنا؟

الجواب حتى الآن هو لا. إلا أنه كما قال الفلكي البريطاني السير مارتن ريس Sir Martin Rees "إن غياب الدليل ليس دليلاً للغياب". فحتى لو كان الكون يعج بالحياة، فإننا لم نتمكن حتى الآن إلا من دراسة جزء صغير منه: بضع بقع على سطح القمر وبقعتين على المريخ (وذلك باستخدام مركبات فضائية غير مأهولة)، إضافة إلى بضع شظايا كويكبية التقطت على سطح الأرض. إن افتقار القمر إلى

الغلاف الجوي وإلى الماء، بل وإلى الفلزات التي تحتبس الماء، يجعله غير ملائم للحياة البتة. ولذا فإن الفلكيين يستبعدون وجود حياة على سطحه، في حين أن المريخ يبدو أكثر ملاءمة؛ فبيئته برغم أنها قاسية تشبه بيئة الأرض وتختلف عن بيئات الكواكب الأخرى جميعها. وقد أثبتت التجارب المخبرية أن بعض البكتيريا والأشنات الأرضية يمكنها أن تعيش في ظروف جو المريخ، برغم عجزها عن التكاثر أو النمو هناك. أضف إلى هذا أن الصور الفوتوغرافية الملتقطة تبين بوضوح أن بيئة المريخ كانت أقل جفاء في الماضي؟ فقد وجد أنه خلال حقبة ماضية كان الماء يجري عليه، الأمر الذي يشير إلى وجود شروط مناخية أكثر دفئاً، وإلى وجود غلافٍ جوي أشد كثافة في الماضي السحيق. ومع هذا فقد ثبت عام 1976 عن طريق مركبتي الفضاء فايكنج اللتين هبطتا على سطح المريخ خلوه من أي أثر للحياة، بل ومن أي مركبات كربونية عضوية.

بحوث راديوية عن حضارات أخر

أما وقد فشلنا في العثور على أثر للحياة في جوارنا، وبالنظر إلى صعوبة التحري عن ذلك مباشرة في المواقع النائية عنا، فقد انصرف عدد من الفلكيين للبحث عن إشارات راديوية قادمة من حضارات أخرى. قد تكون هذه الإشارات الراديوية إذاعات موجهة إلينا عن عمد، وقد تكون مجرد اتصالات موجهة إلى غيرنا فنسترق السمع إليها. بدأ تنصت الفلكيين للإشارات الراديوية القادمة من العوالم الأخرى في الستينيات من القرن العشرين ضمن مشروع عرف باسم مشروع أوزما Ozma الذي قام برصد الإصدارات الراديوية من العديد من مجموعات النجوم المجاورة لنا، على أمل التقاط إشارات مغايرة للإشارات الناشئة عن عمليات طبيعية. وثمة مشروعات أحدث للتنصت إلى خارج الأرض تعرف باسم SETI (وهو لفظ منحوت من العبارة الإنكليزية Search for Extraterrestrial Intelligence، تستخدم فيها أجهزة استقبال تمسح آلياً ملايين الأطوال الموجبة بهدف التقاط

إشارات قادمة من حضارات أخرى. وفي الحقيقة فإن بعض الأساليب المقترحة تعتمد التوليف على أكثر من مئة مليون قناة راديوية.

إن البحث عن الإشارات ليس بالأمر السهل أبداً؛ فحتى لو وجدت هذه الإشارات فإنها ستكون ضعيفة جداً، ودفينة في الإشعاع الكوني. ولذا يتخير الفلكيون بعناية الأطوال الموجية التي يرصدونها. فعلى سبيل المثال تتداخل الأمواج الراديوية الطويلة جداً مع الأمواج الصادرة عن الغاز البينجمي الذي تصدره المجرات بشدة. ومن شأن هذا الإصدار أن يطغى على كل الإشارات ذات الطول الموجي الكبير باستثناء تلك ذات القدرة العالية.

لكن ثمة مأخذاً على محاولات البحث تلك، وهي أنه ربما كانت الحضارات الأخرى لا تهتم ببث الإشارات الراديوية. فقد يؤثر أصحابها الانصات مثلنا. إلا أنه إذا كانت الحضارات الأخرى مماثلة لحضارتنا، فمما لا شك فيه أنها تبث إشاراتها عن غير عمد على مدى واسع من الأطوال الموجية. فمحطات التلفاز ورادارات الدفاع الجوي على سبيل المثال تثبت إشارات راديوية بقدرة عالية جداً يمكن كشفها على بُعد عدة سنين ضوئية عن الأرض. كذلك فقد جرى عام 1974، إبان الاحتفال بافتتاح التلسكوب الراديوي الضخم Arecibo في بروتوريكو، بث إشارات راديوية باتجاه العنقود الكروي M13. ويبعد هذا العنقود عنا أكثر من 20000 سنة ضوئية، ومن ثم فإن الإشارة المبثوثة ما زالت في طريقها إلى ذلك الحشد.

هذا وقد أدت الصعوبات التي صاحبت هذه البحوث الراديوية إلى حمل العلماء على النظر في طرائق أخرى للبحث عن الحياة خارج نطاق كوكبنا الأرضي. وتركز إحدى هذه الطرق على البحث عن غازات غير متوقعة في الغلاف الجوي لكوكب – غازات يمكن أن تصدر عن كائنات حية.

وفي أواخر الستينيات من هذا القرن نبه الكيميائي البريطاني جيمس لفلوك إلى أن العديد من الغازات التي تؤلف غلافنا الجوي سوف تختفي إذا توقفت

الكائنات الحية عن تجديدها. فالأوكسجين مثلاً غاز فعال يتحد بسهولة بالصخور السطحية. ويمضي الكيميائي لفلوك قائلاً إن وجود غازات كهذه في الغلاف الجوي لكوكب لهو دليل على وجود الحياة فيه. ومن هنا فبدلاً من البحث عن إشارات راديوية أو إرسال عربات فضائية غير مأهولة لسبر سطح الكوكب، فقد يجد الفلكيون دليلاً على وجود الحياة خارج الأرض بتحلل الضوء القادم إليهم من الغلاف الجوي للكوكب. ولسوء الحظ لم نتمكن حتى الآن من رصد أي كوكب خارج نطاق منظومتنا الشمسية، ومع هذا فقد أوحت ملاحظات لفلوك بطرائق أخرى مختلفة جداً عن سابقاتها.

فرضية غايا **Gaia**

في عام 1974 أشار لفلوك وعالم الأحياء الدقيقة الأمريكي لن مارغولس إلى أن الحياة تشكل "كلاً أكبر" مع الكوكب فيتعايشا بالتكافل، وأطلقا على اقتراحهما هذا اسم فرضية غايا. وقد اختار هذا الاسم نسبة إلى غايا إلهة الأرض عند الإغريق.

وبمقتضى هذه الفرضية لا تستجيب الحياة لبيئتها وحسب، وإنما تغير فعلاً من طبيعة الغلاف الجوي للكوكب ودرجة حرارته لتجعلها أكثر ملاءمة. وكما ذكرنا آنفاً، فإن من المؤكد أن الحياة النباتية قد فعلت ذلك تماماً على الأرض. فقد جعلت عملية التخليق الضوئي في النبات جو الأرض غنياً بالأوكسجين، فكان بمنزلة حجاب يقي سطح الأرض من الإشعاع فوق البنفسجي الخطر على الحياة. وبالمثل فإن بإمكان النبات أن يغير من درجة حرارة الكوكب من خلال مفعول الدفيئة، فإذا كان الكوكب شديد البرودة، فإن عملية التركيب الضوئي في النبات ستتباطأ، وستتحول كمية أقل من ثنائي أكسيد الكربون إلى أوكسجين. أمّا إذا ازداد مقدار CO2 فإن الكوكب سيسخن وسيساعد ذلك على نمو النبات. وبالمقابل فإذا ارتفعت درجة حرارة الكوكب كثيراً، فإن نمو النبات سيحدث بكثافة وينمو نمواً جنونياً وسيولد

لك الكثير من الأوكسجين، الأمر الذي يقلل من وفرة CO_2 ومن ثم يخفف من التسخين نتيجة مفعول الدفيئة.

كما اقترح كل من لفلوك ومارغولس أن مظاهر أخرى للبيئة كالرطوبة وملوحة المحيطات وسوية البحار، بل وحتى تكوينات الصفائح، يمكن أن تتحكم بها الكائنات الحية حتى تتلاءم مع تكاثرها وتنسجم معه انسجاماً تاماً. إن الربط بين الكائنات الحية والوسط الذي تعيش فيه فكرة تستحق الاهتمام حقاً؛ فهي تكاد تجل من الكوكب كائناً حياً. ولكن ما مدى صحة فرضية غايا؟ إن بعض جوانب هذه الفرضية لا غبار عليه، إلا أن العديد من العلماء يشككون في بعض ما تذهب إليه ولا سيما في تلك الإدعاءات الأكثر تطرفاً فيها كالتحكم بتكتونيات الصفائح على سبيل المثال. ومما لا شك فيه أن الكائنات الحية تؤثر وتتحكم بالبيئة التي تعيش فيها، ولا شك أن ثمة روابط بين الحياة والعالم المادي بقيت غائبة عن الأذهان. ولعل إحدى هذه الروابط هي جذورها في علم الكونيات، وهي رابطة تعرف باسم "المبدأ الإنساني".

المبدأ الإنساني أو مبدأ التسخير Anthropic Principle

استعرض الفيزيائي روبرت ديك من جامعة برنستون عام 1961 بعض حوادث التوافق الكونية. فقد أشار (ديك) أن عمر الكون، على سبيل المثال قريب من عمر نجوم كالشمس، وأضاف إن هذا التوافق في الواقع لا يثير الدهشة، بل هو ضرورة. وأشار إلى أن الحياة تتطلب الكربون والسيليكون والحديد، وهي مواد تصنعها النجوم ذات الكتل الضخمة. وهكذا فإن نشأة الحياة تتطلب مرور زمن كافٍ لتصنع العناصر الثقيلة ثم لتثبتها في الفضاء إثر انفجار مستعر فائق. ثم إنه لا بد من انقضاء زمن آخر حتى تلتحق هذه المواد بالسحب البينجمية وتكون نجوماً جديدة. ولا تصبح الحياة ممكنة إلا في هذا الجيل الثاني من النجوم حصراً. وهكذا فقد استنتج (ديك) أن الحياة الذكية مستحيلة في كون لا يتجاوز عمره بضعة

آلاف من السنين. وأضاف أن الحياة تتطلب النجوم، ومن ثم فهي موجودة في أماكن من الكون حديثة نسبياً وهي أماكن لم تستفد فيها النجوم وقودها بالكامل. وعليه فإن وجود الراصد الذكي بحد ذاته في الكون يتطلب أن يكون عُمر الكون محصوراً ضمن حدود معينة.

وفي العام 1974 خطا الفيزيائي البريطاني براندون كارتر بأفكار ديك خطوة إلى الأمام، فاقترح مبدأ عرف باسم **المبدأ الإنساني Anthropic Principle** مؤداه أن ما نتوقع رصده مقيد بالشروط اللازمة لوجودنا كراصدين. وقد بين كثير من العلماء منذ طرح المبدأ الإنساني مدى حاجة الكون إلى التوليف الدقيق في بدء تكوينه لكي يغدو ملائماً للحياة.

إذن فوجود الحياة على الأرض مشروط شرطاً سببياً بوجود الكون كله وبالصيغة التي تقررت له منذ اللحظات الأولى للانفجار العظيم. هكذا نأتي الآن وبعد خمسة عشر مليار سنة من ولادة الكون لنكشف علمياً أن اللحظات التي نعيشها الآن مرتبطة ارتباطاً وثيقاً باللحظات الأولى لذلك الانفجار.

هذا الترابط القائم بين عالم الذرات وعالم المجرات، رغم سعة الأبعاد واختلاف الكتل والحركات وتباعد الأزمنة بين الثواني الأولى والأخيرة له مضامين كبيرة، لعل أهمها أن هذا الكون بسياقاته التي سار عليها وبهيئته الحالية هذه وتكوينه هذا شرط ضروري ولازم لوجود الإنسان. ولما كان الإنسان هو الكائن العاقل الوحيد المعروف حتى الآن في هذا الكون، فإن الكون لابد أن يكون مخلوقاً من أجل أن يوجد الإنسان، أي من أجل الإنسان. (لو أننا اكتشفنا مخلوقات ذكية أخرى في الكون فإن الاستنتاج يبقى سارياً لكننا سنقول عندها إن الكون وجد من أجل أن تكون فيه حياة ذكية وفي كل هذه الأحوال فالنتيجة واحدة).

سمي هذا الكشف العظيم " المبدأ الإنساني Anthropic Principle " ، لكنني أفضل تسميته بالعربية " مذهب التسخير " فالقصد في مذهب التسخير

الإسلامي هو نفسه الذي في هذا المبدأ الإنساني، وقد تزايد الاهتمام بهذا المبدأ خلال النصف الثاني من العقد الماضي، وقدم فيه العديد من أساطين الفيزياء النظرية والكونية آراءهم ومفاهيمهم حول هذه المسألة، وبأزاء ذلك انقسمت عشيرة الفيزيائيين إلى مذهبين:

أصحاب **المذهب الأول**: وهؤلاء يقررون أن مضمون الترابط القوي بين ثوابت ومتغيرات الكون التي أدت بالنتيجة إلى توفير الظروف الكونية "الطبيعية " لتكون مناسبة لوجود الإنسان. وفق هذا التأويل يكون الكون قد تم تفصيله أصلاً لأجل الاستيطان البشري، وإن قوانين الفيزياء والظروف الأولية قد تراكبت بالطريقة التي تؤمن الوجود اللاحق للمخلوقات الحية. وقد سمى براندن كارتر هذا "**مذهب التسخير القوي Strong Anthropic Principle** ".

من الفيزيائيين القائلين بهذا المذهب جوزيف سيلك الذي أثبت أن هنالك كتلة حرجة للمجرة تتمكن عندها أن تتحول إلى نجوم، وفي نهاية الأمر إلى كواكب سيارة وإلى بيئة ملائمة لتطور الحياة. كما يؤيد الفيزيائي العتيد جون ويلر مذهب التسخير القوي فيقول: "وما فائدة وجود الكون دون إدراك ذلك الكون؟ ". أما جون بارو فإنه يعيد تأكيد المبدأ القائل بأن وجودنا هو المسؤول بمعنى ما عن الهيكل الخاص جداً للكون إذ يقول: إن الارصادات في العالم الطبيعي رغم كونها متطلبات ملحوظة، فإنها ترى بهذا التصور على أنها نتائج محتمة لتواجدنا نحن.

أصحاب المذهب الثاني: وهم يقرون بأن الحقائق الدالة على تراكب الصدف العديدة لتحقيق بنية الكون على هذه الصورة تنفي وجود الصدفة أساساً، لكنهم يعتبرون الفترة التي وجدت فيها الحياة على الأرض هي حالة (حظ سعيد للغاية) إذ يقول بول ديفز في مناقشته لموضوعة فرد هويل " لو لم تكن الحالة كما كانت عليه فينبغي أن لا نكون هنا لمناقشة هذا الموضوع، وإنها أحد الأمثلة لاعتبارنا محظوظين بصورة استثنائية لوجودنا في كون ذي هيكل يعتمد

بدقة عالية على الثوابت الطبيعية ". ولقد سمى براندن كارتر هذا "**مذهب التسخير الضعيف Weak Anthropic Principle**".

يتضح من هذا أن مذهب التسخير الضعيف ليس إلا محاولة لتأجيل كافة الصدف التي كان يؤمن بها علماء الطبيعة وجمعها في صدفة واحدة هي صدفة وجودنا في حقبة زمانية معينة من عمر الكون.

في كل الأحوال فإن مبدأ التسخير يشير الى وجود قصد وغاية من خلق هذا الكون ووجود كوكب واحد على الأقل ينتمي الى منظومة شمسية فيه يتمتع بالخصائص اللازمة لنشوء وتطور الحياة عليه. إلا أن الاعتراض على وجود القصد والغاية يأتي من فرضية الأكوان الموازية Multiverse حيث يدعي أن وجود أكوان أخرى كثيرة بمواصفات أخرى ينفي القصد والغاية مثلما ينفي وجود قصد وغاية ايضاً لوجود قشرة محار على شاطئ أحد البحار. لكن هذه المحاجة تبطل في حال أن قلنا بأن الذي قصد وجود حياة ذكية على الأرض إنما هو الخالق القيوّم الذي يتولى كل شئ في الكون من خلال ضبطها بقوانين هو استسنها وفي جملتها قوانين نشوء الحياة نفسها وتطور العالم وكائناته. وبالنتيجة فالإيمان هو تسليم فمن شاء فليؤمن ومن شاء فليكفر.

الملاحق

الجدول (1): ثوابت فيزيائية وفلكية

ثوابت فيزيائية	المقدار
سرعة الضوء	2.9979245×10^{8}m/s≈ 3×10^{5}km/s
ثابت الجاذبية	$6.67259\times10^{-11}m^{3}-kg^{-1}-s^{-2}$
ثابت بلانك	6.62608×10^{-34} joule−s
كتلة ذرة الهيدروجين	1.6735×10^{-27}kg
كتلة الإلكترون	9.1094×10^{-31}kg
ثابت ستيفان	5.6705×10^{-8} watts$-m^{-2}-deg^{-4}$
ثابت قانون فين	0.28978 cm/deg
ثوابت فلكية	
الوحدة الفلكية	1.495978706×10^{11}m
السنة الضوئية	9.4605×10^{15}m =6.324×10^{4}AU
الفرسخ الفلكي	3.0856×10^{16}m=3.085678×10^{13}km =206265AU
السنة الفصلية الفلكية	=3.155815×10^{7}s يوم 365.256366
كتلة الأرض	5.974×10^{24}kg
كتلة الشمس	1.989×10^{30}kg
نصف قطر الأرض الاستوائي	6378.0km

نصف قطر الشمس	6.96×10^{8} m=6.96×10^{5}km
سطوعية الشمس	3.83×10^{26} watts
نصف قطر القمر	1.738×10^{3} km
كتلة القمر	7.348×10^{22} kg

الجدول (2): الخصائص الفيزيائية للكواكب

الكوكب	**نصف القطر (الأرض=1)**	**الكتلة (الأرض=1)**	**ة**
عطارد	.382	0.055	5.43
الزهرة	.949	0.815	5.25
الأرض	1.00	1.00	5.25
المريخ	.533	0.107	3.93
المشتري	11.19	317.9	1.33
زحل	9.46	95.18	0.71
أورانوس	3.98	14.54	1.24
نبتون	3.81	17.13	1.67
بلوتو	.176	0.00256	بين 1.89 و2.14

الجدول (3): الخصائص المدارية للكواكب

الكوكب	البعد عن الشمس		الدور	
	AU	(10^6km)	سنة	يوم
عطارد	0.387	57.9	0.2409	(87.97)
الزهرة	0.723	108.2	0.6152	(224.7)
الأرض	1.00	149.6	1.0	(365.26)
المريخ	1.524	227.9	1.8809	(686.98)
المشتري	5.203	778.3	11.8622	(4332.59)
زحل	9.539	1427.0	29.4577	(10759.22)
أورانوس	19.19	2869.6	84.014	(30685.4)
نبتون	30.06	4496.6	164.793	(60189)
بلوتو	39.53	5900	247.7	(90465)

جدول رقم(6) أسطع عشرين نجماً في السماء

القدر الظاهري	البعد بالسنين الضوئية	الكوكبة	اسم النجم
1.46-	8.48	الكلب الأكبر	الشعرى اليمانية Sirius
0.72-	224	السفينة	Canopus سهيل
0.04-	32.96	العواء	السّماك الرامح Arcturus
0.01-	4.25	قنطورس	رجل قنطورس Rigil Cen

النسر الواقع Vega	القيثارة	24	0.03
العيوق Capella	ممسك الأعنة	40	0.08
رجل الجبار	الجبار	819.2	0.12
الشعرى الشامية Procyon	الكلب الأصغر	11.2	0.38
آخر النهر Achernar	النهر	86.4	0.46
بيت القوس Betelgause	الجبار	1024	0.50
حضار Hadar	قنطورس	304	0.61
الطير Altair	العقاب	16	0.77
الدبران Aldebaran	الثور	60.8	0.85
قلب العقرب Antares	العقرب	608	0.96
السّماك الأعزل Spica	العذارء	214.4	0.98
التوأم المؤخر Pollux	الجوزاء	32	1.14
فم الحوت Famulhut	الحوت	19.2	1.16
الذنب Deneb	الدجاجة	8640	1.25
ميموزا	الصليب الجنوبي	384	1.25
نُعيم	الصليب الجنوبي	489	1.28

جدول(7) مواقع المنازل العربية

المنزلة	البرج	الموقع بالدرجات	المطلع المستقيم
الشرطين	الحمل	12.857-00.000	0051.428-0000.000
البطين	الحمل	25.714-12.857	0142.856-0051.428
الثريا	الحمل – الثور	08.571-25.714	0234.284-0142.856
الدبران	الثور	21.428-08.571	0325.712-0234.284
الهقعة	الثور	04.285-21.428	0417.140-0325.712
الهنعة	الثور-الجوزاء	17.142-04.285	0508.568-0417.140
الذراع	الجوزاء	30.000-17.142	0600.000-0508.568
النثرة	السرطان	12.857-00.000	0651.428-0600.000
الطرفة	السرطان	25.714-12.857	0742.856-0651.428
الجبهة	السرطان-الأسد	08.571-25.714	0834.284-0742.856
الزبرة	الأسد	21.428-08.571	0925.712-0834.284
الصرفة	الأسد-السنبلة	04.285-21.428	1017.140-0925.712
العواء	السنبلة	17.142-04.285	1108.568-1017.140
السماك	السنبلة	30.000-17.142	1200.000-1108.568
الغفر	الميزان	12.857-00.000	1251.428-1200.000
الزباني	الميزان	25.714-12.857	1342.856-1251.428
الأكليل	الميزان-العقرب	08.571-25.714	1434.284-1342.856
القلب	العقرب	21.428-08.571	1525.712-1434.284
الشولة	العقرب-القوس	04.285-21.428	1617.140-1525.712
النعائم	القوس	17.142-04.285	1708.568-1617.140

البلدة	القوس	30.000-17.142	1800.000-1708.568
سعد الذابح	الجدي	12.857-00.000	1851.428-1800.000
سعد بلع	الجدي	25.714-12.857	1942.856-1851.428
سعدالسعود	الجدي-الدلو	08.571-25.714	2034.284-1942.856
سعدالأخبية	الدلو	21.428-08.571	2125.712-2034.284
مقدم الدلو	الدلو-الحوت	04.285-21.428	2217.140-2125.712
مؤخرالدلو	الحوت	17.142-04.285	2308.568-2217.140
بطن الحوت	الحوت	30.000-17.142	2400.000-2308.568

مسرد بالمصطلحات الواردة في الكتاب

أحزمة فان آلن الإشعاعية	Van Allen radiation belts
أخاديد	Rilles
أرضي المركز	Geocentric
إشعاع الخلفية الكوني	Cosmic background radiation(CBR)
أشعة كونية	Cosmic rays
أطوار	Phases
إعادة اتحاد	Recombination
أفق الحدث	Event horizon
الأفق الكوني	Cosmic horizon
أفق	Horizon
أقمار غاليليو	Galilean satellites
الإكليل الشمسي	Corona
ألسنة لهب شمسية	Solar flare
إلكترون	Electron
الأنكستروم	Angstrom unit
احتراق الهيدروجين	Hydorgen burning

Reddening	احمرار
Occultation	استتار
Greatest elongation	الاستطالة العظمى
Nova	مستعر
Equinox	الاعتدال الربيعي أوالخريفي
Vernal equinox	الاعتدال الربيعي
Conjunction	اقتران
Emission	انبعاث
Tidalbulge	انتفاخ مدي
Conservation of angular momentum	انحفاظ الاندفاع الزاوي
Conservation of energy	انحفاظ الطاقة
Curvature of space	انحناء الفضاء
Nuclear fusion	اندماج نووي
Gravitational redshift	انزياح أحمر ثقالي
Blueshift	انزياح أزرق
Redshift	الانزياح الأحمر
Doppler shift	انزياح دوبلر
Fission	انشطار
Diffraction	حيود

Big bang	الانفجار العظيم
Solstice(winter and summer)	الانقلاب (الشتوي والصيفي)
Refraction	انكسار
Parsec	بارسك، فرسخ فلكي
Mare	بحر
Maria	بحور
Proton	بروتون
Green house effect	تأثيرالبيت الزجاجي
Ionization	تأيُّن،تأيين
Dispersion	تبديد،تبدّد
Scattering	تبعثر،تشتت
Triangulation	تثليث
Infrared	تحت أحمر
Nucleosynthesis	تخليق نووي
Bipolar flow	تدفق ثنائي القطب
Frequency	تردّد،تواتر
Precession	ترنح
Acceleration	تسارع
Mainsequence	التسلسل الرئيسي

Inflation	تضخم
Photo dissociation	تفكك ضوئي
Fluorescence	تفلوُر
Opposition	تقابل
Plate tectonics	تكتونيات الصفائح
Negtive curvature	تكوّر(انحناء) سالب
Reflector	تلسكوب عاكس
Refractor	تلسكوب كاسر
Hydrostatic equilibrium	توازن (هيدروستاتي)
Siderealtime	التوقيت الفلكي،التوقيت النجمي
Universaltime	التوقيت العالمي،توقيت غرينتش
Dynamo	توليد الحقول المغنطيسية
Convection	تيارات الحمل
Hubble constant	ثابت هابل
Gravity	الجاذبية
Blackhole	ثقب أسود
Eclipsing binary	الثنائي الكسوفي
Spectroscopic binary	ثنائي طيفي
X-ray binaries	ثنائيات الأشعة السينية

ثنائية نجمية مرئية	Visible binary
جزر محاقي	Neap tide
جزيئة	Molecule
جسيم ألفا	Alpha particle
حالة مُثارة	State Excited
حجب،احتجاب	Obscuration
الحجم الزاوي	Angular size
حد شاندراسيخار	Chandrasekhar limit
حركة تراجعية	Retrograde motion
حزام الكويكبات	Asteroid belt
عنقود فائق محلي	Local Supercluster
عنقود	Cluster
الحضيض الشمسي	Perihelion
الحقل المغناطيسي الأرضي	Earth's magnetic field
حقل مغناطيسي	Magneticfield
خسوف	Lunar eclipse
خط الاستواء السماوي	Celestial equator
خط الاستواء	Equator
خط اختلاف المنظر	Parallax

خطوط القوة المغنطيسية	Magnetic lines of force
دائرة البروج	Zodiac
دقيقة قوسية	Minuteofarc
دور فلكي	Sidereal period
دور	Period
دوران متزامن	Synchronous rotation
الدورة الشمسية	Solar cycle
ذرّة	Atom
ذيل	Tail
راسم الطيف	Spectrograph
نيزك	Meteorite
رنين، تجاوب	Resonance
الريح الشمسية	Solarwind
زاوية السَّمت	Azimuth
زخة شُهب	Meteor shower
الزخم الزّاوي	Angular momentum
سحابة أورت	Oort cloud
سحابة بينجمية	Interstellar cloud
سحابتي ماجلان	Magellanic clouds

Carb nebula	سديم السرطان
Solar nebula	سديم شمسي
Reflection nebula	سديم عاكس
Planetary nebula	سديم كوكبي
Dark nebula	سديم معتم
Nebula	سديم
Escape velocity	سرعة الإفلات
Recession velocity	سرعة الانحسار
Luminosity	سطوع
Zenith	السّمت
Light year	سنة ضوئية
Aurora	الشفق القطبي
Heliocentric	شمسي المركز
Meteor	شهاب
Prominece	الشواظ الشمسي
Radiation pressure	ضغط الإشعاع
Degeneracy pressure	ضغط التوالد
Energy	طاقة
Wavelength	طول الموجة

Emission line spectrum	طيف إنبعاث خطي
Absorption line spectrum	طيف امتصاص خطّي
Electromagnetic spectrum	طيف كهرومغناطيسي
Visible spectrum	طيف مرئي
Continuous spectrum	طيف مستمر
Spectrum	طيف
Transit	عبور،عابر
Gravitational lens	عدسة ثقالية
Period−luminosity relation	علاقة الدور والسطوع
Spectroscopy	علم الأطياف
Cosmology	علم الكونيات
Redgiant	عملاق أحمر
Giant	عملاق
Radioactive element	عنصر مشع
Globular cluster	عنقود كروي
Supercluster	عنقود مجري فائق
Galactic cluster	عنقود مجري
Open cluster	عنقود مفتوح
Star cluster	عنقود نجمي

Ozone	غاز الأوزون
Degenerate gas	غاز متوالد
Solar nebula hypothesis	فرضية السديم الشمسي
Differentiation	فصل
Lobes	فصوص
Curveds pace	الفضاء المحدب
Ecliptic	الدائرة الكسوفية
Epicycle	فلك التدوير
Photon	فوتون
Ultraviolet	فوق بنفسجي
Crater	فُوهة
Wien’s law	قانون فين
Hubble law	قانون هابل
Opacity	قتامة
Magnitude	قَدْر
Accretion disk	قرص التنامي
Disk	قرص
White dwarf	قزم أبيض
Black dwarf	قزم أسود

Brown dwarf	قزم بني
Dwarf	قزم
Crust	قشرة
Inertia	قصور
South celestial pole	القطب السماوي الجنوبي
North celestial pole	القطب السماوي الشمالي
Celestial pole	القطب السماوي
Polarity	قطبية
Satellite	قمر (تابع)
Differential gravitational force	القوة الثقالية التفاضلية
Weak force	القوة الضعيفة
Electroweak force	قوة كهروضعيفة
Electromagnetic force	قوة كهرومغناطيسية
Nuclear force	قوة نووية
Fundamental forces	القوى الأساسية
Tidal braking	كبح مدي
Mass	كتلة
Critical density	الكثافة الحرجة
Density	كثافة

Chromosphere	الكرة اللونية
Magnetosphere	الكرة المغنطيسية
Photosphere	الكرة المنيرة
Solar eclipse	كسوف
Annular eclipse	الكسوف الحلقي
Total eclipse	كسوف كلي أو خسوف كلي
Eclipse	الكسوف
Sunspot	كلف شمسي، بقعة شمسية
Quasar	كوازار(شبه نجم)
Terrestrial planet	كوكب أرضي
Outer planet	كوكب خارجي
Inferior planet	كوكب داخلي
Planet	كوكب
Constellation	كوكبة
Closed universe	كون مغلق
Open universe	كون مفتوح
Flat universe	كون منبسط
Universe	الكون
Asteroid	كويكب

لب خارجي	Outer core
لسان لهب	Flare
الكرة السماوية	Celestial sphere
المادة الخفية	Dark matter
المادة المضادة	Antimatter
مادة بينجمية	Interstellar matter
مبدأ الإستثناء	Exclusion principle
المبدأ الإنساني (مبدأ التسخير)	Anthropic principle
المبدأ الكوني	Cosmological principle
متأين، مؤين	Ionized
مجرّة حلزونية عصوية	Barred spiral galaxy
مجرة حلزونية	Spiral galaxy
مجرّة درب التبانة	Milky Way galaxy
مجرّة غير منتظمة	Irregular galaxy
مجرة	Galaxy
المجموعة المحلية	LocalGroup
مخلفات المستعر الفائق	Supernova remnant
المد والجزر	Tides
مدار، فلك	Orbit

Comet	مذنب
Supernova	مستعر فائق
Enegylevel	مستوى طاقة
Resolving power	مقدرة الفصل (تمييز)
Interfermoeter	مقياس التداخل
Quantized	مكمم
Convection zone	منطقة حملية
Solar System	المنظومة الشمسية
Electromagnatic wave	موجة كهرومغناطيسية
Eclipse seasons	موسما الكسوف
Megaparsec	ميغا بارسك، ميغافرسخ فلكي
Declination	ميل
Atmospheric window	النافذة الجوية
Nanometer	نانومتر
Protostar	نجم أولي
Morning Star	نجم الصباح
EveningStar	نجم المساء
Binary Star	نجم ثنائي
Cepheid Star	نجم قيفاوي

نجم متغير	Variable star
نجم نبّاض ميلي ثانية	Millisecond pulsar
نجم نبّاض	Pulsar
نجم نيوتروني	Neutron star
نجم	Star
نصف المحور الكبير	Semimajor axis
نصف قطر شوارتزشلد	Schwarzchild radius
النظريات الموحدة الكبرى	Grand Unification theories(GUT's)
نقطة الأوج	Aphelion
نموذج	Model
نواة	Nucleus
نيزك	Meteoroid
نيوترون	Neutron
نيوترينوات	Neutrinos
هالة	Halo
هضاب القمر	Highlands
الوحدة الفلكية	Astronomical unit(AU)
ومضة الهيليوم	Heliumflash
وميض	Scintillation

يوم شمسي	Solar day
يوم نجمي	Sidereal day

عنوان البريد الإلكتروني للمؤلف

baseltaie@gmail.com

قناة اليوتيوب للمؤلف

(170) Basil Altaie - YouTube